

VNT-AHTIMEN OHJAINLAITE

Janne Kovanen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2010

Informaatioteknologian instituutti
Tekniikan ja liikenteen ala: Elektroniikan koulutusohjelma





Tekijä(t) KOVANEN, Janne	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 16.03.2010
	Sivumäärä 34	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi VNT-AHTIMEN OHJAINLAITE		
Koulutusohjelma Informaatioteknologia, elektroniikka		
Työn ohjaaja(t) PIETIKÄINEN, Kalevi		
Toimeksiantaja(t) KOVANEN, Janne		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä suunniteltiin ja rakennettiin muuttuvageometrisen eli VNT-turboahntimen elektroninen ohjainlaite.</p> <p>Olin asentanut omaan autooni nykyaikaisen muuttuvageometrisen ahtimen, jota auton oma elektroniikka ei pystynyt ohjaamaan.</p> <p>Työhön kuului ahtimen toiminnan tutkiminen sekä sille sopivan ohjainlaitteen rakentaminen. Tutkimisvaihe käsitti ahtimen sekä sitä ohjaavien mekaanisten osien toiminnan. Sen pohjalta lähdettiin suunnittelemaan elektroniikkaa jolla ahdinta voidaan ohjata.</p> <p>Elektroniikka sisältää mikro-ohjaimen sekä sen vaatimia oheiskomponentteja. Mikro-ohjaimen on ohjelmoitu PID-säädin algoritmi ja se ohjaa turboa PWM-signaalilla.</p> <p>Turbon toiminta oli aluksi arvoitus ja sen tutkimiseen kului paljon aikaa. Paljon aikaa kului myös mikro-ohjaimen ohjelmointiin. Turbon toiminnan tutkiminen ja ohjelmointi tapahtuivat pitkälti samaan aikaan. Turboa oli käytännössä mahdoton testata muuten kuin oikeassa käytössä eli autolla ajaen.</p> <p>Sain laitteen toimimaan kuten halusin. Ohjelmoinnissa opin paljon PID-säätimestä. Työ opetti myös ymmärtämään VNT-ahtimen toimintaa. Työstä on mahdollista tehdä kaupallinen sovellus.</p>		
Avainsanat (asiasanat) VNT-ahdin, mikro-ohjain, PID-säädin, Atmel AVR, PWM		
Muut tiedot		



Author(s) KOVANEN, Janne	Type of publication Bachelor's / Master's Thesis	Date 16032010
	Pages 34	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title VNT-TURBO CONTROLLER		
Degree Programme Information technology, electronics		
Tutor(s) PIETIKÄINEN, Kalevi		
Assigned by KOVANEN, Janne		
Abstract <p>In this bachelors thesis an electronic control device for variable nozzle geometry turbocharger was designed and constructed.</p> <p>A modern variable nozzle geometry turbocharger was installed in the author's car, whose electronics could not control it. .</p> <p>The work included research and studies about turbochargers and the construction of a suitable controller. The investigation phase included the operation of a turbocharger and the necessary mechanical parts. Based on this, the electronics were planned to control the turbocharger.</p> <p>The electronics included a micro-controller and the required components. The micro-controller has a PID-algorithm programmed inside it to control the turbocharger with PWM-signal.</p> <p>Turbo behaviour was initially a mystery, and it took a long testing time. Also programming the micro-controller was very time consuming. Investigating turbo behaviour and programming took place mainly at the same time. The behaviour of the turbocharger was virtually impossible to test in any other way than driving a car.</p> <p>The device acted as wanted. A great deal was learned about the PID controller. This thesis project also taught the author to understand the VNT-turbo action. In future it is possible to make a commercial application based on this thesis.</p>		
Keywords Micro-Controller, PID, Atmel AVR, PWM, VNT-turbo		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1 TYÖN LÄHTÖKOHDAT	3
2 MEKANIikka	4
2.1 VNT-AHDIN	4
2.2 KOLMITIEVENTTILI	7
2.3 TOIMILAITE ELI TURBON KELLO	8
3 ELEKTRONIIKKA	11
3.1 PID-SÄÄDIN	11
3.2 PWM	14
3.3 MIKRO-OHJAIN	16
4 TYÖN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS	18
4.1 SUUNNITTELUVAIHE	18
4.2 TOTEUTUS LOHKOITTAIN	20
4.2.1 Anturit	20
4.2.2 Lähdöt	23
4.2.3 Virtalähde	24
4.3 KYTKENNÄN SUUNNITTELU	25
4.4 PIIRIKAAVION JA LAYOUTIN SUUNNITTELU	26
4.4.1 Piirikaavio	26
4.4.2 Layout	26
4.5 LEVYN VALMISTUS JA KOKOAMINEN	27
4.6 OHJELMOINTI	27
4.7 TESTAUS	30
5 POHDINTA	31
LÄHTEET	33
LIITTEET	34
LIITE 1. VAATIMUSTEN MÄÄRITTELY	34

KUVIOT

KUVIO 1. VNT-AHTIMEN SIIVET MINIMIVIRTAUSASENNOSSA	6
KUVIO 2. VNT-AHTIMEN SIIVET MAKSIMIVIRTAUSASENNOSSA	7
KUVIO 3. KOLMITIEVENTTIILI.....	8
KUVIO 4. ALIPAINEKELLO	9
KUVIO 5. ALIPAINEKELLON TOIMINTA.....	10
KUVIO 6. PID-SÄÄTIMEN LOHKOKAAVIO.....	11
KUVIO 7. YKSINKERTAINEN PULSSINLEVEYSMODULAATIO.....	16
KUVIO 8. TURBON OHJAINLAITTEEN LOHKOKAAVIO	19
KUVIO 9. PAINEANTURI	21
KUVIO 10. KAASUNASENTOANTURI ELI POTENTIOMETRI	22
KUVIO 11. ELEKTRONIIKAN PIIRIKAAVIO.....	26
KUVIO 12. P-SÄÄDIN	27
KUVIO 13. PD-SÄÄDIN	28
KUVIO 14. PID-SÄÄDIN	29

1 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

Työn tarkoitus oli sovittaa nykytekniikka vanhaan autoon. Idea työhön oli ollut ajatuksissa jo kauan. Nykyaikaisissa autoissa on paljon sellaista tekniikkaa, joka olisi hyödyksi myös vanhassa autossa. Esimerkiksi turboahtimen vaihtaminen ei ole teknisesti vaikeaa, mutta uusien autojen suuri elektroniikan määrä aiheuttaa ongelmia. Vanhemmassa autossa on vähemmän elektroniikkaa, ja usein se on niin kehittymätöntä, että sen avulla ei onnistu esimerkiksi uudemmanmallisen turboahtimen ohjaaminen.

Omaan autooni oli vaihdettu turboahdin, mutta siitä puuttui siihen sopiva ohjaus. Turbo ei toiminut, kuten haluttiin. Valmistajasta ratkaisua ei ollut olemassa. Ei ainakaan järkevällä hintalapulla varustettuna. Ainut vaihtoehto oli toteuttaa turbon ohjainlaite itse.

Työ on luonteeltaan poikkitieteellinen, eivätkä eri tekniikan alat ole sisältyneet opetukseen, joten käytetyissä termeissä saattaa esiintyä epätasällisyyttä. Eri tekniikoita ovat

- prosessitekniikka
- säätötekniikka
- autotekniikka
- elektroniikkasuunnittelu
- mittaustekniikka ja
- pneumatiikka.

Eri tekniikoissa käytetään erilaisia termejä tarkoittaessa samaa asiaa, ja parhaani mukaan yritin käyttää oikeita termejä, mutta virheitä varmasti mahtuu joukkoon. Käsittelemistä siitä syystä mm. prosessi- ja säätötekniikkaa kokemuseräisin esimerkein.

Työn tavoitteena oli saada turbo toimimaan paremmin omassa autossani.

2 MEKANIikka

2.1 VNT-ahdin

Pakokaasuahdin, eli tuttavallisemmin turboahdin, löytyy nykypäivänä monesta autosta. Sen käyttö on henkilöautoissa yleistynyt vuosien mittaan. 1980-luvulla turboahdinta ei vielä ollut monessa autossa. 1990-luvulla se kuitenkin alkoi olla arkipäivää varsinkin diesikäyttöisissä autoissa. Nyt 2000-luvulla sitä käytetään lähes jokaisessa diesel-autossa. Bensiinikäyttöisissä autoissa sitä on käytetty vain tehokkaimmissa malleissa, mutta viime vuosien aikana on tapahtunut paljon kehitystä ja on alettu käyttää pienempiä moottoreita varustettuna turboahtimella. Etuina ovat suurempi teho, pienempi kulutus sekä ympäristön vähäisempi kuormittuminen.

Turbo- eli pakokaasuahdin ottaa energiaa talteen pakokaasuista ja antaa moottorille enemmän tehoa. Diesikäyttöisessä autossa se parantaa hyötysuhdetta, ja se onkin syy niiden yleisyyteen. Myös bensiinikäyttöisissä autoissa turboahtamisesta on hyötyä.

Turboahdinkin on vuosien mittaan kehittynyt. Perinteisen turboahtimen ongelmana on ollut ahtimen koko. Koko on aina kompromissi. Pienikokoinen turbo alkaa pyöriä ja tuottaa ahtopainetta jo pienellä moottorin kuormituksella ja kierrosluvulla. Tällöin ongelmaksi muodostuu yleensä korkeilla kierroksilla ajaminen. Tuolloin pieni turbo alkaa rajoittaa pakokaasun kulkua rajoittaen siten tehoa. Asia voidaan ratkaista asentamalla isompi turbo, mutta tällöin toiminta pienillä kierroksilla huononee. Perinteisellä turbolla on kuitenkin tultu hyvin toimeen, ja se on edelleenkin toimiva keksintö.

Valmistajat ovat kuitenkin halunneet kehittää jotain parempaa. Muuttuvageometriset turboahtimet yhdistävät pienen ja ison turbon hyvät puolet. Turboa voidaan säätää jatkuvasti.

VNT-ahtimet eivät muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta kestä bensiinikäyttöisessä autossa. Tämä johtuu suuremmasta pakokaasun lämpötilasta sekä ahtimen monimutkaisemmasta rakenteesta. Nykyaikaisessa tehokkaassa dieselmoottorissa se alkaa kui-

tenkin olla ainut vaihtoehto saada aikaan vähän kuluttava ja tehokas moottori, joka soveltuu jokapäiväiseen ajoon ja jonka päästöt saadaan riittävän pieniksi.

Autossani on käytössä Garrettin valmistama turboahdin. Lyhenne VNT tulee juuri Garrettilta. Muilla valmistajilla on käytössään eri lyhenteitä, kuten esimerkiksi Holsetin käyttämä HGT. Eri valmistajilla on hiukan erilaiset toteutukset, mutta peruseriaate on sama, eli muutetaan turbon kokoa eri tavoilla. Garretilla lyhenne tulee sanoista ”Variable Nozzle Turbine” = Muuttuvageometrinen turbiini.

Kuviossa 1 ahtimen ohjainsiivet ovat niin sanotussa minimivirtauskulmassa eli kiinni. Jo pieni pakokaasuvirtaus saa turbiinin pyörimään. Enemmän pakokaasua virtaa tangentin suuntaisesti kasvattaen pakokaasun virtausnopeutta ja lisäten siten vääntöä turbiiniakselille. On siis selvää, että tässä tilanteessa turbon ahtopaine nousee nopeasti.



KUVIO 1. VNT-ahtimen siivet minimivirtausasennossa (Turbotekniikka – perustietoa muuttuvageometrisista ahtimista. 2009)

Kuviossa 2 ahtimen ohjainsiivet ovat auki-asennossa, ja pakokaasuvirtaus turbiinille tapahtuu turbiinin säteen suuntaisesti. Tästä seuraa suurempi kaasujen virtaus, ja sitä kautta pienempi vastapaine ennen turbiinia. Myös moottoriteho kasvaa lisääntyneen ilmamäärän vuoksi.



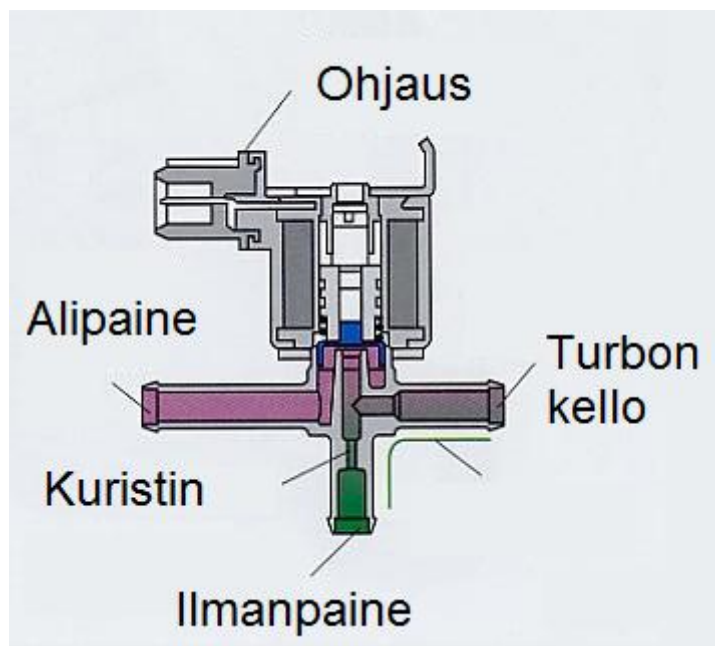
KUVIO 2. VNT-ahtimen siivet maksimivirtausasennossa (Turbotekniikka – perustietoa muuttuvageometrisista ahtimista. 2009)

2.2 Kolmitieventtiili

Kolmitieventtiiliä ohjataan tässä sovelluksessa pulssinleveysmodulaatiolla. Kolmitieventtiili sisältää nimensä mukaisesti kolme porttia. Yhteen tuodaan esimerkiksi paine. Kun kolmitieventtiilille ei tuoda ohjausta, paine menee toisesta portista ulos. Jos venttiiliä ohjataan, paine menee ulos eri portista. Pulssinleveysmodulaatiolla saadaan tehtyä portaaton säätö.

Tässä työssä esiteltävässä sovelluksessa kolmitieventtiilille tuodaan alipaine, joka muodostetaan jo moottorissa olemassa olevalla alipainepumpulla. Tämä alipaine vie-

dään toimilaitteelle eli turbon yhteydessä olevalle painekellolle. Kun venttiilin ohjaus on 100 %, turbon siivet ovat kiinni-asennossa. Säädin säättää ohjausta pienemmälle tarpeen mukaan. Venttiilin kolmannesta portista purkautuu ulos ylimääräinen alipaine. Eli kun ohjaus tulee venttiilille, yhdistyvät alipaine ja turbon kellolle lähtevä portti. Kun ohjausta ei tule, yhdistyy turbon kellolle lähtevä portti ilmanpaineeseen. PWM-säädöllä saadaan aikaan näiden välimuotoja. Omassa sovelluksessani kuristinta on pakko käyttää, ettei alipainetta vuoda liikaa. Se voi aiheuttaa ongelmia muille alipainetta käyttäville laitteille. Työssä käytetyn kolmitieventtiilin rakenne nähdään kuviossa 3.



KUVIO 3. Kolmitieventtiili

2.3 Toimilaite eli turbon kello

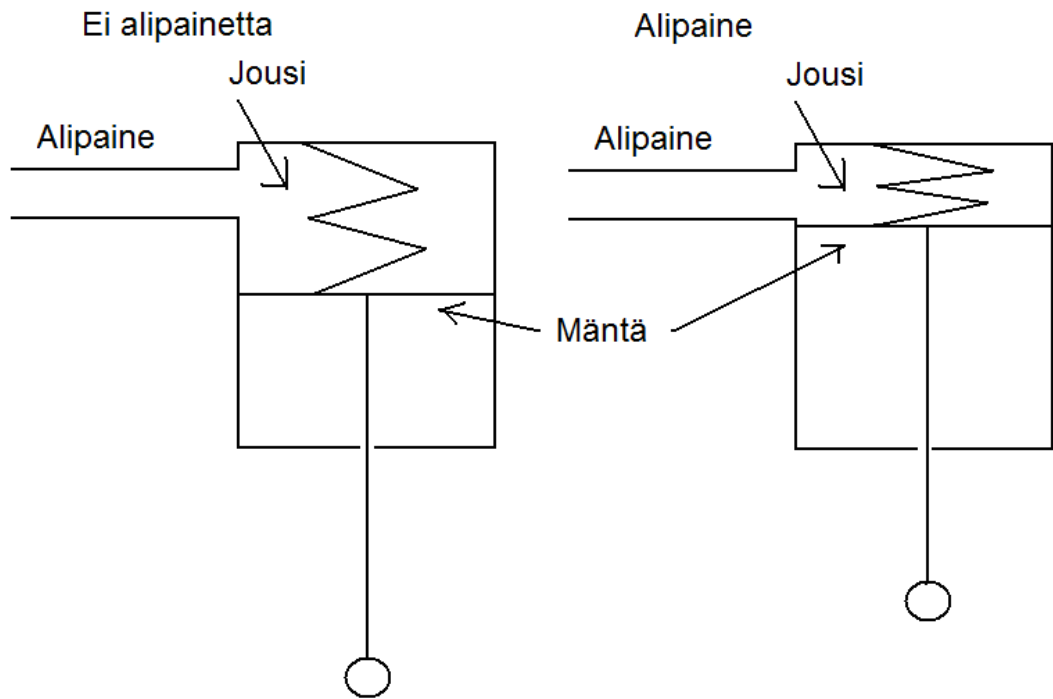
Turboa ohjaa kuvion 4 mukainen toimilaite. Kansankielessä sitä kutsutaan usein hukkaportin kelloksi, mutta koska VNT-ahtimessa ei ole hukkaporttia, ei nimitys ole kovinkaan osuva. Turbon kello voi toimia ylipaineella tai alipaineella. Usein vanhemmissa autoissa käytetään ylipaineista versiota. Silloin turbon hukkaporttia ohjataan suoraan imusarjan paineella. Uudemmissa autoissa on usein alipainetoiminen hukkaportti, jota ohjataan sähköisesti samalla tavalla kuin tässä sovelluksessa.

Eroja yli- ja alipainetoimisella kellolla ei juuri ole, ainoastaan toiminta on vastakkaissuuntaista. Ylipainekello liikkuu myös alipaineella, mutta eri suuntaan. VNT-ahtimen ollessa kyseessä on liikematka yleensä hiukan pidempi kuin perinteisissä ahtimissa.



KUVIO 4. Alipainekello

Kellon sisäosat ovat kuvion 5 mukaiset. Kun alipaine pääsee männän yläpuolelle, vetää se tankoa sisäänpäin. Jousi vastustaa liikettä ja palauttaa männän lepoasentoon alipaineen poistuttua. Rakenne on samanlainen kuin yksitoimisessa pneumatiikkasyylinterissä, joka on tieteellisempi nimitys alipainekellolle. Paineellossa jousi on männän toisella puolella, jolloin tanko työntyy ulospäin paineen noustessa. Paineen laskiessa tanko palaa lepoasentoon.

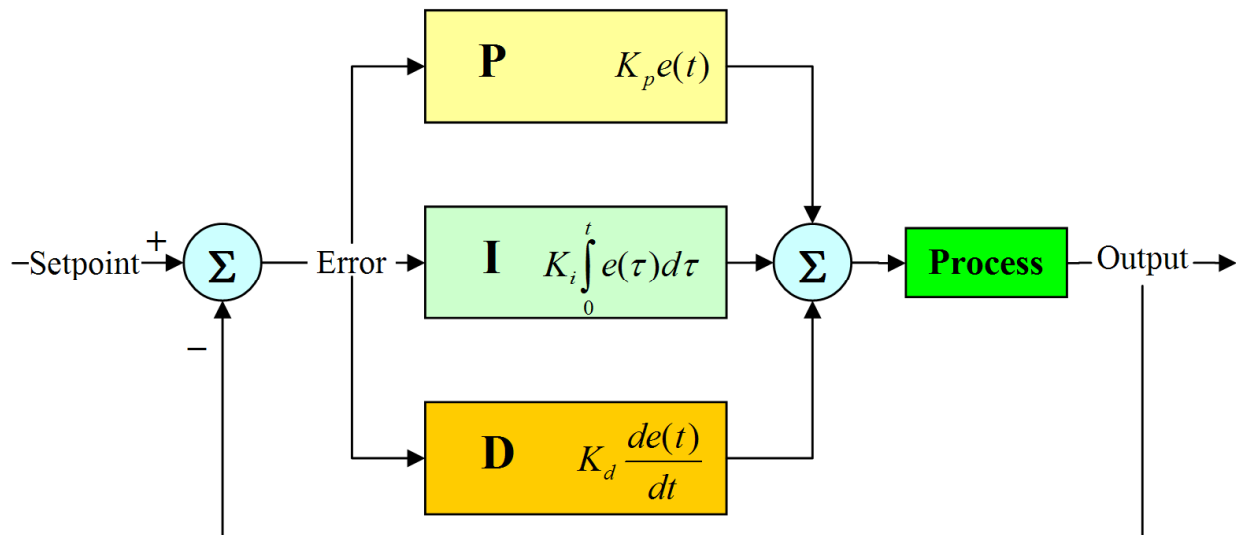


KUVIO 5. Alipainekellon toiminta

3 ELEKTRONIIKKA

3.1 PID-säädin

PID-säädin on varmaankin maailman käytetyin säädin. Sitä voidaan käyttää kaikissa prosesseissa, joiden lähtöä voidaan mitata. Mittaussuure voi olla nopeus, lämpötila tai vaikkapa paino. PID-säädin voi ohjata esimerkiksi auton vakionopeussäädintä tai huoneiston lämpötilaa. Säädin on yksinkertaisuudessaan melko nerokas, eli sen parametreja muuttamalla se voidaan sovittaa lähes kaikkiin tarpeisiin. PID-säätimen lohkokaavio on kuviossa 6.



KUVIO 6. PID-säätimen lohkokaavio

Tavallisessa PID-säätimessä on yksi tulo eli prosessin ulostulo. Se voi olla esimerkiksi lämpötila tai taajuustieto. Yleensä se on mitattu jollain anturilla, tässä opinnäytetyössä on paineen mittaus. Setpoint, eli asetusarvo, on haluttu ulostulo eli se, mihin ulostulo pyritään säätämään. Säädin laskee säätöarvon ja ulostulon välisen eron, summaa eri osien (P, I ja D) ulostulot sekä ohjaa prosessia. Kaikkia osia ei tarvitse käyttää. Varsinkin P- ja PI-säätimet ovat yleisiä. Prosessia voidaan ohjata esimerkiksi pulssinleveysmodulaatiolla.

P-termi tarkoittaa vahvistusta. Säädin voi yksinkertaisimmillaan olla pelkkä P-säädin. Se säättää lähtöä pelkästään tulon perusteella:

```
ohjaus =(säätöarvo-ulostulo)*p_kerroin;
```

Kerroin kertoo, kuinka nopeasti tai aggressiivisesti säädin toimii. Mitä suurempi kerroin, sitä nopeampi on reagointi, mutta vaarana on säätimen värähteleminen. Puhutaan myös P-termistä, joka siis tarkoittaa tätä vahvistuksen arvoa.

Esimerkki 1: Lämpötila on 6 °C ja halutaan 12 °C. P-terminä käytetään 0,75. Lämpötilan säätönä on hana, jota voidaan säätää välillä 0...5.

```
4,5=(12-6)*0,75;
```

Esimerkki 2: P-terminä 3 ja lämpötilaerona sama

```
12=(12-6)*3;
```

Hanaa ei kuitenkaan saada auki enempää, mutta suuremmalla P-kertoimella pienikin lämpötilaero saa aikaan suuren muutoksen säätöarvossa. P-säätimellä säätöön tulee asentovirhe, eli ulostulo ei saavuta säätöarvoa.

I-termillä tarkoitetaan integroivaa termiä, eli se yksinkertaisesti ajatellen korjaa tuon P-säätimen aiheuttaman asentovirheen. I-säädin siis tutkii, kuinka paljon säätö on pielessä ja sen perusteella laskee korjauskertoimen, tai oikeammin korjausarvon, joka summataan ohjaukseen. Integrointikerroin, kuten P-säätimen kerroinkin, vaikuttaa säädön toimintaan. I-säätimen koodi voisi olla seuraavankaltainen:

```
kertymä =kertymä+(säätöarvo-ulostulo)/integrointikerroin;
```

```
ohjaus =kertymä;
```

Jos tähän lisätään vielä P-säätö, saadaan yleisesti käytetty PI-säädin:

```
kertymä =kertymä+(säätöarvo-ulostulo)/integrointikerroin;
```

```
ohjaus =(säätöarvo-ulostulo)*p_kerroin +kertymä;
```

PID-säätimessä on vielä derivointi. Derivointi tarkoittaa muutosnopeutta, eli säädin tunnistaa ulostulosignaalin muutosnopeuden ja muuttaa säätöä sen suhteen. Myös derivointiin vaikuttaa kerroin.

```
ohjaus= (ulostulo-edellinen_ulostulo)*d_kerroin;
```

Esimerkki 3: Ulostulo on 20 ja edellinen on 12. D-kerroin on 1

```
8=(20-12)*1;
```

Esimerkki 4: Ulostulo on 20 ja edellinen on 18

```
2=(20-18)*1;
```

Eli mitä nopeammin muutos tapahtuu, sitä enemmän ohjausarvoa muutetaan.

Kokonaisen PID-säätimen koodi on seuraavanlainen:

```
kertymä =kertymä+(säätöarvo-ulostulo)/i_kerroin;
derivaatta=(ulostulo-edellinen_ulostulo)*d_kerroin;
ohjaus=(säätöarvo-mittaus)*p_kerroin+kertymä+derivaatta;
```

Jotta PID-säädin saataisiin vielä toimimaan halutulla tavalla, pitää se virittää sopivaksi käyttötarkoitukseen. Viritys tapahtuu muuttamalla vahvistuskerrointa P, integrointikerrointa I ja derivointikerrointa D. Parametrien määrittämisessä on helpointa aloittaa jättämällä säätimestä pois D- ja I-kertoimet ja säätämällä vahvistuskerroin kohdalleen. Se säädetään siten, että säätimen värähtely poistuu. I-säätimellä säädetään ulostulon arvo kohdalleen. D-säätimellä säädetään reagointinopeus paremmaksi. Ainut ongelma on se, ettei parametrien viritys ole helppoa. PID-säätimen viritykseen on olemassa erilaisia metodeja, ja niistä on kirjoitettu valtava määrä kirjoja. Ei ole oikeaa eikä väärää tapaa. Yksinkertaisissa laitteissa paras ja nopein tapa on yleensä yrityksen ja erehdyksen periaate. Suuremmissa prosesseissa, joissa tiedetään prosessin viiveet ja dynamiikka, käytetään matemaattisia ratkaisumalleja.

PID-säätimessä on myös ongelmia. Suurin niistä on ”integral windup” eli vapaasti suomennettuna integraalin jumiutuminen. Kun prosessi ei jostain syystä reagoi pid-säätimen toimintaan, alkaa integrointifunktio kasvattaa korjausarvoa, joka kasvaa kasvamistaan. Prosessin päästessä takaisin säätöalueelle kestää kauan ennen kuin liiaksi kasvaneen korjausarvon vaikutus poistuu. Ongelmaan on muutamia ratkaisutapoja:

- Asetetaan rajat integraalifunktion arvolle, eli sen ei anneta kasvaa loputtomasti.
- Poistetaan integraalifunktio käytöstä, kun tiedetään, ettei säädin pysty säätämään prosessia.
- Rajataan aika, jonka kuluessa funktion on laskettava korjauskerroin.
- Kun tullaan säätöalueelle, integraalin arvoksi asetetaan jokin ennalta määrätty arvo.

Tämä integraalin jumiutuminen on ongelma varsinkin hitaissa prosesseissa, kuten talon lämmityksessä. Esimerkkinä tilanne, jossa tasalämpöisen talon ovi avataan, ja taloon tulee kylmää ilmaa. Integrointikerroin alkaa heti korjata virhettä tekemällä vastaavanlaisen, vastakkaisen korjauskertoimen säätöön. Tämä ei ole järkevää, ja niinpä monissa säätimissä on tämäkin asia otettu huomioon lukitsemalla integrointiosa tällaisissa tilanteissa. (PID controller. 2009)

Aina kun lähtö on joko 0 % tai 100 %, integraali tulisi lukita. Jos asunnon lämmitysteho ei riitä pitämään asuntoa lämpimänä, kun kaikki ovet ovat auki, on aivan turhaa muuttaa säätimen korjausarvoa. Sama asia voidaan soveltaa myös turboahtimeen. Jos pakokaasua ei ole riittävästi, ja haluttua painetta ei saavuteta, integraaliosa lukitaan.

3.2 PWM

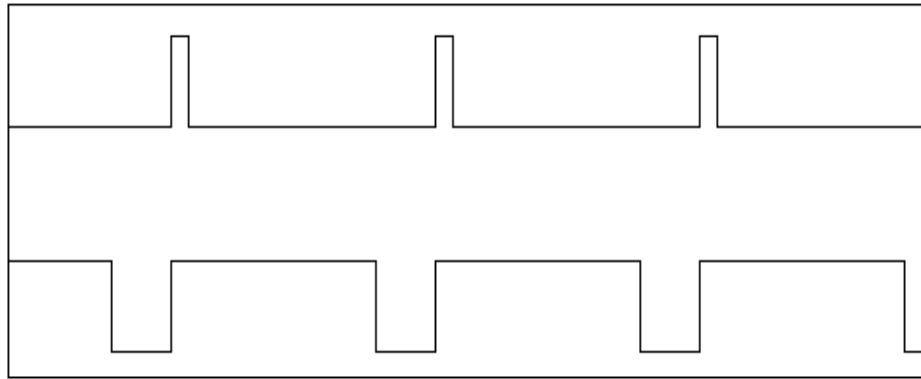
Pulssinleveysmodulaatiota on nykyisin käytetty paljon ohjauksessa. Se on käytössä virtalähteissä, vahvistimissa ja monissa säätimissä. Nykyinen digitaalielektroniikka on tehnyt sen käytön helpoksi. Suurin etu on hyvä hyötysuhde.

Esimerkki 5: Otetaan 12 voltin teholähde ja 60 watin hehkulamppu. Halutaan tehdä himmennin. Vanhalla tavalla tehtynä käytetään transistoria ja säädetään sitä lineaarisesti. Täydellä teholla lamppu ottaa 5 ampeerin virran, ja hyötysuhde on 100 %. Neljännesteholla sähköä kuluu 2,5 ampeeria, ja lampun teho on 15 w. Sama teho hukkuu transistoriin, eli hyötysuhde on enää 50 %. Puolella teholla lampun teho on 30 w, ja transistoriin menee 12 w. Hyötysuhde n. 70 %. On selvää, ettei tällaisia säätimiä voi käyttää normaalielämässä varsinkaan suurilla kuormilla, koska tehoa hukkuu suurii määriä.

Pulssinleveysmodulaation häviöitä on vaikeampi laskea, ja ne riippuvat hyvin paljon käytetystä taajuudesta sekä komponenteista, joilla se on toteutettu. Sopivalla taajuudella ja hyvillä komponenteilla päästään hyvin lähelle sataa prosenttia. PID-säätimessä ulostuloksi sopii erittäin hyvin juuri pulssinleveysmodulaatio, koska sen ohjaus on helppo skaalata samaksi kuin anturilta saatu mittausarvo, mikä helpottaa säädön toimintaa. Yleensä käytetään mosfet-transistoreja. Tärkeää on, kuinka nopeasti transistori vaihtaa tilaansa, eli ollaan mahdollisimman vähän aikaa osittain johtavalla alueella.

Pulssinleveysmodulaatioita on käytössä erilaisia. Yksinkertaisin on sähköön pätkiminen vakiotaajuudella ja pulssileveyttä muuttaen. Käytössä on myös erilaisia koodauksia, sekä uusimpana sovelluksena digitaaliset vahvistimet. Tässä työssä ei tutustuta eri variaatioihin vaan käytetään yksinkertaista pulssinleveysmodulaatiota.

Kuviossa 7 yksinkertainen pulssinleveysmodulaatio. Ylempänä pulssi on lyhyt, ja tehoa siirtyy pieni määrä. Alempana pulssi on lähes 100 %, ja tehoa siirtyy silloin enemmän.



KUVIO 7. Yksinkertainen pulssinleveysmodulaatio

3.3 Mikro-ohjain

Alusta asti oli selvää, miten työ toteutetaan. Atmelin Avr-mikrokontrolleriperhe oli tuttu pitkältä ajalta, joten sen ominaisuuksia, ohjelmointia tai mitään muutakaan ei tarvinnut alkaa opiskella. Työssä käytetään Atmelin 8-bittistä AVR-mikrokontrolleria, josta löytyy valmiina kaikki tarpeelliset toiminnot.

Atmelin AVR:n prosessori on kaikissa sama. Eroina kontrollereilla ovat oheislaitteiden määrä, käyttöjännite, kotelointityyppi sekä kellotaajuus. Kaikki nämä asiat vaikuttavat virrankulutukseen. Mikro-ohjaimet ovat RISC-tyyppisiä ja 8-bittisiä. Kaikkien tyyppien arkkitehtuuri on sama, joten ne pystyvät ajamaan samaa koodia. (Vahtera, 2003)

Atmelin AVR-prosessoreja on kolmea eri perhettä:

- tinyAVR esim. ATtiny26
- classicAVR esim. AT90S2313
- megaAVR esim. ATmega128

Atmelin valikoima on erittäin laaja. Tarpeelliset ominaisuudet listattiin ja etsittiin so-
piva kontrolleri. Hintaerojen ollessa melko pieniä valittiin kuitenkin hiukan parempi,
kuin tarve olisi ollut, johtuen lähinnä suuremmasta ohjelmamuistista. Siitä ei tule
olemaan haittaa, ja ohjelman kirjoittaminenkin on helpompaa, jos muistia on riittävä-
sti. Ohjelman kokoa ei voi tietää ennen kuin se on kirjoitettu, ja kokemuksesta tiedän,
että se menee harvoin pienempään tilaan kuin mitä on ajateltu.

Valinta kohdistui Atmelin ATmega16 mikro-ohjaimen, mutta koska ”miljoonalaa-
tikoon” oli jäänyt ATmega32, käytettiin sitä. Erona on oikeastaan vain ohjelma-
muistin tuplamäärä: 16 kt -> 32 kt. Piirit ovat pinni-yhteensopivia, eli muu suunnitte-
lu ei muutoksesta kärsi. ATmega32 on hiukan kalliimpi kuin ATmega16 hintojen
vaihdellessa tilauspaikasta riippuen noin 10–20 euroon.

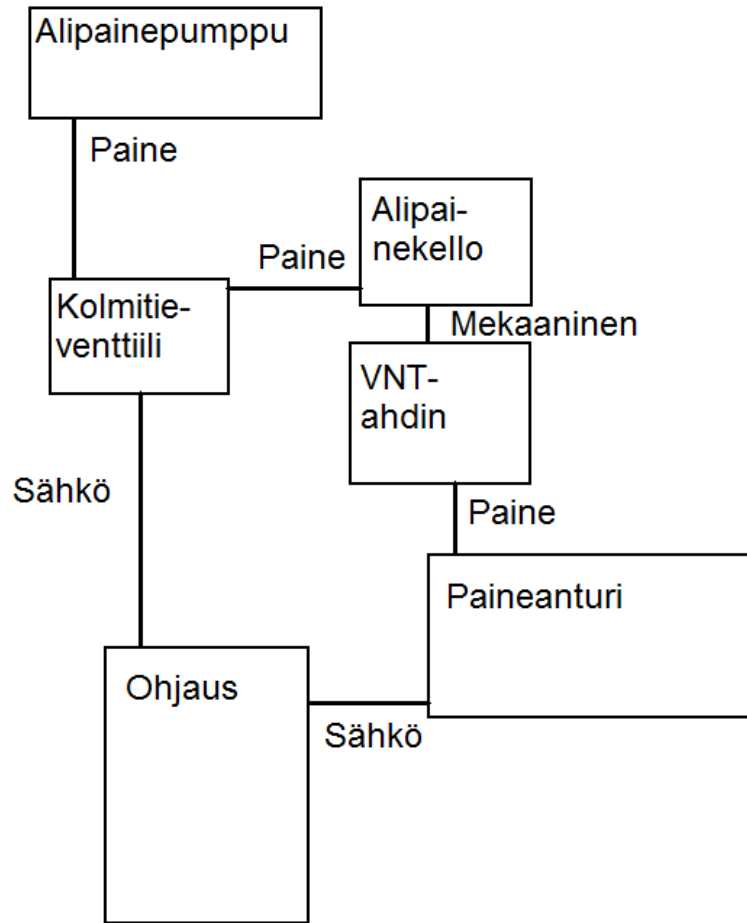
Internetin tarjonta on viime vuosina lisääntynyt runsaasti erilaisten puolivalmiiden
tuotteiden alueella. Sieltä löytääkin helposti erilaisia prototyypikortteja, vaikkapa
näillä Atmelin prosessoreilla. Kysehän on kortista, jossa on valmiina esimerkiksi vir-
ransyöttö, sarjaportti, LCD-näyttö sekä tilaa omille kytkennöille. Tällaisen jalostami-
nen omaan käyttöön olisi järkevää. Tässä työssä ei juuri ulkoisia komponentteja tarvi-
ta näiden perusasioiden lisäksi. Tähän ei kuitenkaan ryhdytty. Jos piirilevyn tekemi-
nen ei olisi ollut yhtä helppoa, olisi valmis kortti ostettu. Hinnat ovat erittäin edullisia
tavalliselle harrastelijalle.

4 TYÖN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

4.1 Suunnitteluvaihe

Suunnittelu alkoi tutustumisella olemassa oleviin asioihin eli turbon toimintaan, kolmitieventtiiliin sekä toimilaitteeseen eli alipainekelloon. Ensimmäinen kokeilu oli määrittää sopiva kuristin ulkoilmaan karkaavalle alipaineelle, jotta säätöalueesta saataisiin mahdollisimman laaja. Ohjaus ei saisi olla liian herkkä. Ilman kuristinta pulssinleveysmodulaation säätöalue oli noin 10 %, eli kaikki muutos tapahtui sillä alueella. Sopivalla kuristimella saatiin laajennettua aluetta noin 65 %:iin. Ensimmäinen laite, jota testaukseen käytettiin, oli piirilevyn palanen, jossa oli Atmelin mikro-ohjaimella toteutettu PWM – säädin. Sen antamaa pulssisuhdetta säädettiin potentiometrillä. Sen avulla tutkittiin turbon siipien liikettä suhteessa säätimen antamaan pulssisuhteeseen. Auto kävi tyhjäkäyntiä paikallaan, ja seurattiin turbon kellon liikettä säätäen samalla potentiometriä.

Lohkokaavio piirrettiin toteutuksesta: Mitä osia tarvitaan, miten ne on yhdistetty toisiinsa ja millaista tietoa niiden välillä kulkee. Lohkokaavio kuviossa 8.



KUVIO 8. Turbon ohjainlaitteen lohkokaavio

4.2 Toteutus lohkoittain

4.2.1 Anturit

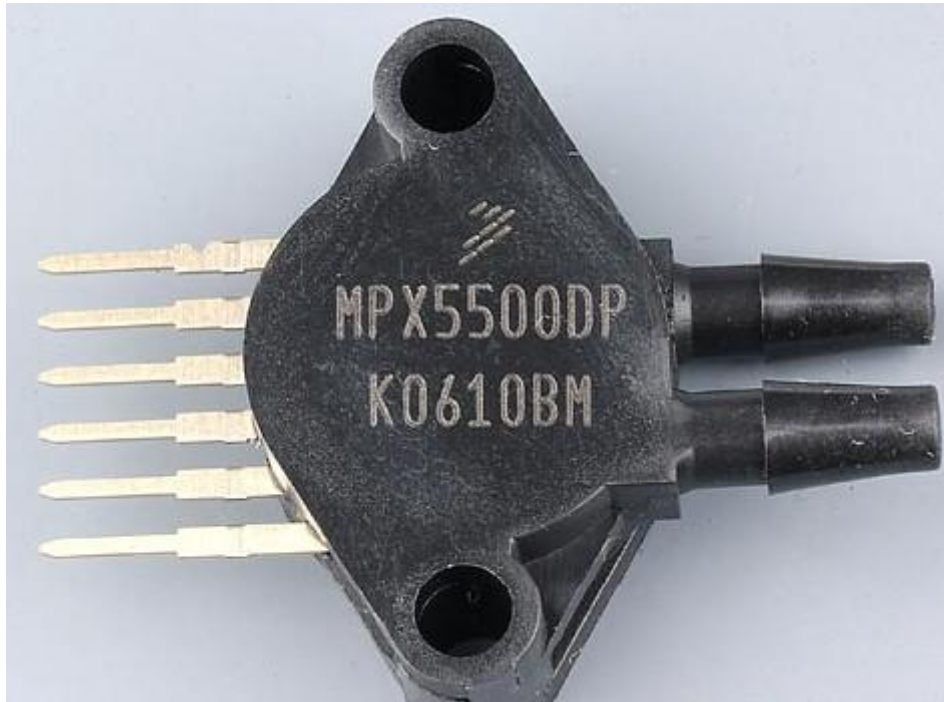
Anturien tehtävänä on muuttaa jokin suure tietokoneen ymmärtämään muotoon. Esimerkiksi lämpötilan muuttaminen volteiksi. Tässä sovelluksessa anturit mittaavat, miten turbo tehtäväänsä hoitaa sekä sitä, mitä kuljettaja haluaa turbon tekevän. Siitä ohjelma laskee sopivat parametrit turbon ohjaukseen. Kaikki perustuu antureilta saatavaan tietoon, joten niiden pitää toimia luotettavasti kaikissa olosuhteissa, jotka juuri autokäytössä voivat olla melko haastavat.

Periaatteessa tarvittaisiin vain ahtopaineelle tarkoitettu anturi. Laite toimisi siten, että se yrittäisi aina pitää halutun ahtopaineen joka tilanteessa. Tämä malli oli käytössä ensimmäisessä kokeiluversiona ja toimikin jo melko hyvin. Haluttiin kuitenkin käyttää mikrokontrollerin ominaisuuksia paremmin hyödyksi sekä saada säätimestä parempi. Kytkeäkseen lisättiin anturi kaasupolkimen asennolle. Lisäksi moottorin kierroslukua mitattiin. Kytkeäkseen voitaisiin helposti lisätä antureita myös esimerkiksi lämpötiloille (jäähdytysneste, öljy, imuilma, yms.) tai vaikka pakosarjan paineelle. Näillä tiedoilla ei säätöä saisi parannettua, mutta ne olisivat tärkeitä moottorin keston kannalta. Rajoitettaisiin esimerkiksi tehoa moottorin ylikuumetessa.

Auton täytyy kestää, vaikka sillä ajettaisiin päivä kaasu pohjassa. Tästä syystä autoissa on antureita rajoittamassa moottorista saatavaa tehoa. Myös monien nykyaikaisten turbomoottoreiden vääntöä joudutaan rajaamaan vaihteistojen kestävyysden takia.

4.2.1.1 Ahtopaineanturi

Ahtopaineanturiksi valittiin Motorolan MPX5500DP. Syinä valintaan oli halpa hinta sekä riittävä painealue (0-5 Bar paine-eroa). Anturi mittaa kahden painetulon eroa. On olemassa myös absoluuttisia, eli vain yhdellä painetulolla varustettuja antureita. Tällaisessa laitteessa ei ole käytännön eroa sillä, kumpaa käytetään. Ylisuurta tarkkuutta ei tässä laitteessa kuitenkaan tarvita, eikä 10-bittinen AD-muunnin edes anna siihen mahdollisuuksia.



KUVIO 9. Paineanturi

Tarkkuudesta vielä sen verran, että ahtopaineet, joita mitataan, ovat n. 0-2 bar, eli 1-3 bar absoluuttista painetta. Paineen muutokset ovat nopeita. Prosessia hidastavia asioita on paljon, kuten turbon siipien ohjaus. Samanlainen kuormitustilanne ja kaasun asento ei kestä pitkään normaalissa ajotilanteessa. Tämän kyseisen anturin tarkkuudeksi luvataan 2,5 %. Esimerkiksi yhden barin paineella vaihteluväli on 0,9975–1,0025 bar. Kahden desimaalin tarkkuuskin riittää mainiosti. Monet muutkin asiat vaikuttavat mittaustarkkuuteen, mutta tähän sovellukseen anturi on riittävän tarkka.

Ahtopaine eli imusarjan paine vaihtelee aina, kun moottorin venttiilit sulkeutuvat ja avautuvat. Nämä paineenvaihtelut ovat erittäin nopeita ja voimakkaita. Tämän voi todeta esimerkiksi mekaanisella vaimentamattomalla painemittarilla. Tällaisia painemittareita käytetään esimerkiksi paineilmaverkostoissa ja paineilmakompressoreissa. Paineanturin käyttöön lisäämiseksi autossa käytetään vaimenninta paineanturin ja imusarjan välissä. Tämä vaimennin tasaa painetta, ja käytännön kokeissa on huomattu, ettei tässä tapauksessa tarvita mitään elektronista vaimennusta ohjelmakoodissa. Ilman vaimennintakin paine saataisiin mitattua, mutta riskinä olisi mahdollinen paineanturin rikkoutuminen.

Suomen ilmasto-olosuhteissa anturi joutuu kestäämään suuria lämpötilan vaihteluita. Itse ohjainkortti ja paineanturi on siis sijoitettu ainakin tässä vaiheessa ohjaamoon, jolloin ajon aikana lämpötila ei nouse moottorin lämpötiloja vastaavaksi, eli hieman alle sataan asteeseen. Lisäksi anturissa mainostetaan olevan lämpötilakompensointi, eli lämpötilanvaihteluiden ei pitäisi vaikuttaa anturin arvoon.

Työssä käytetty anturi on halvimpia saatavilla olevia. Silti se maksaa noin 20 euroa. Tällaisessa suhteellisen yksinkertaisessa laitteessa komponentin hinta on melko korkea verrattaessa sitä koko laitteen hintaan.

4.2.1.2 Kaasunasentoanturi

Kaasunasentoanturina toimii aivan tavallinen potentiometri (kuvio 10), joka on kiinnitetty ruiskutuspumppun kaasuakselille. Sen napoihin tuodaan viiden voltin jännite ja maadoitus. Potentiometrin liu'usta luetaan kaasun asento käyttäen hyväksi mikrokontrollerin AD-muunninta.



KUVIO 10. Kaasunasentoanturi eli potentiometri

Kaasun asentotietoa käytetään ahtopaineiden ohjauksessa. Pienellä kaasun asennolla tasaista nopeutta ajettaessa ei tarvita suurta ahtopainetta, jota käytössä oleva muuttuvasiipinen ahdin kuitenkin tuottaa siivet kiinni-asennossa. Niinpä ohjain avaa siipiä hiukan tasakaasulla ajettaessa, jolloin ei tuoteta turhaa ahtopainetta, eikä siten kuluteta ylimääräistä polttoainetta eikä kuormiteta ympäristöä. VNT-ahdin tuottaa ahtopainetta jo tyhjäkäynnillä, jos säätösiivet ovat kiinni. Se ei ole tarpeellista, joten säädin avaa siivet, kun kaasua ei paineta.

Käytössä oleva potentiometri ei ole suojattu kosteudelta. Potentiometri on aivan tavallinen kaupasta saatava, noin euron maksava osa. Tähän asti se on toiminut hyvin, mutta tiedetään, ettei se ole kovin kestävä. Se tullaan vaihtamaan myöhemmin toisenlaiseen, autokäyttöön suunniteltuun koteloituun malliin.

4.2.1.3 Kierrosluvun mittaus

Kierrosluku mitataan mittaristolle tulevasta signaalista. Se tulee auton alkuperäiseltä, yksinkertaiselta tietokoneelta. Tietokone saa tiedon kampiakselin asentotunnistimelta, ja kierroslukumittarille tuleva signaali on kanttiaalta 0-12V. Tämä on sovitettu mikrokontrollerin ajastimelle yksinkertaisella kytkennällä, jossa zenerdiodi leikkaa ylimääräisen jännitteen pois.

Kierroslukutietoa, kuten kaasunasentoanturiakin, tarvitaan rajoittamaan ahtopaineita tietyissä tilanteissa. Tässä sovelluksessa ahtopaine rajataan alle 2000 kierroksen auton voimansiirron säästämiseksi.

4.2.2 Lähdöt

PWM-signaalilla ohjataan kolmitieventtiiliä, joka ohjaa alipaineella turboa. Lähtöä ei ole suojattu erikseen, mutta käytössä on diodilla suojattu mosfet. Normaalitylanteessa, kun kolmitieventtiilin kelalta otetaan ohjaus pois, se antaa vastakkaissuuntaisen jännitepiikin, joka saattaa rikkoa herkän mosfet-transistorin. Diodi oikosulkee tämän vastakkaissuuntaisen jännitepiikin.

Muita lähtöjä on sarjaportti eli RS232. Siitä saadaan tarvittaessa siirrettyä tietoa tietokoneelle, mutta käytännössä sitä tarvittiin vain ohjelman kehitysvaiheessa. Lisäksi laitteessa on LCD-näyttö, johon voidaan tulostaa tietoa, kuten ahtopaine, kierrosluku tai muita ohjaukseen liittyviä parametreja. Normaalissa ajotilanteessa näyttö on turha, koska ajaessa ei voi seurata näyttöä. Käytössä on yleinen HD44780-ohjaimella varustettu näyttö. Siihen löytyy suoraan kaikki tarvittavat ohjausfunktiot codevisionAVR-ohjelmasta. Ainut asia, johon jompaakumpaa tarvitaan, on ohjaimen ominaisuuksien säätäminen. Niiden avulla voidaan säätää ahtopaineita, kierrosten mukaan toimivaa rajoitusta sekä PID-parametreja. LCD-näyttö tai sarjaportti on oltava mukana joka tapauksessa, ellei sitten haluta muuttaa ohjaimen ominaisuuksia ohjelmoimalla mikro-ohjainta uudestaan.

Omassa testilaitteessani on mukana sekä sarjaportti että LCD-näyttö. Jos halutaan tehdä halvempi versio laitteesta, sarjaportti ja LCD-näyttö jätetään pois. Silloin asetusten säätöön tarvitaan mikro-ohjaimen uudelleenohjelmointi.

Suunnitteluvaiheessa oli tarkoitus lisätä kytkentään myös releitä ja valodiodeja, jotka voi myöhemmin ohjelmoida haluamaansa käyttöön. Ne jäivät kuitenkin toteuttamatta niiden kyseenalaisen tarpeen takia. Jos tulevaisuudessa tulee tarvetta jollekin lisäominaisuudelle, ei uuden piirilevyn suunnittelu ole ongelma. Tarkoitus on kuitenkin pitää laite yksinkertaisena ja halpana.

4.2.3 Virtalähde

Autossa ajon aikana toimivan laitteen ei tarvitse säästää sähköä. Sitä on tarjolla riittävästi. Pienen elektronisen laitteen virrankulutus on vain muutamia kymmeniä milliampeereja. Se ei kuormita sähköjärjestelmää, joten virtalähteen suunnittelussa ei tarvitse juuri hyötysuhteita miettiä. Niinpä virransyöttö laitteelle on toteutettu tavallisella lineaariregulaattorilla. Se on yksinkertainen ja halpa, eikä se ole herkkä häiriöille. Auton akulta saadaan tasasähköä, joka vaihtelee 10–14 voltin välillä. Käytössäni on viiden voltin regulaattori, joka tarvitsee vähintään 7 voltia toimiakseen oikein. Jos

auton akun jännite pääsee putoamaan alle 7 voltin, häiriintyy auton muidenkin sähkölaitteiden toiminta. Kondensaattorit regulaattorin tulo- ja lähtöpuolella on mitoitettu regulaattorin datalehden mukaan.

Auton sähköjärjestelmässä ilmenee häiriöitä. Paljon virtaa kuluttavat laitteet aiheuttavat jännitepiikkejä sähköjärjestelmään, eikä autossa oleva laturikaan tuota häiriötöntä sähköä. Jonkinlainen häiriösuodatin saattaisi olla paikallaan, mutta kokeiluversion testauksen perusteella on todettu, ettei sellaista tarvita. Ainut suojaus on diodi väärän kytkennän estämiseksi. Kokemuksien mukaan halpa ja yleisesti saatavilla oleva lineaariregulaattori poistaa auton sähköjärjestelmän aiheuttamat häiriöt tehokkaasti. Käytetäänhän parhaissa HIFI – laitteissa edelleenkin lineaariteholähteitä, eikä sähköä säästäviä hakkureita, kuten useimmissa uusissa kotilaitteissa. Häiriöitä voi kuitenkin tulla muuta kautta, kuten esimerkiksi moottoritilaan menevistä pitkistä kaapeleista kaasunasentopotentiometrille. Ne voivat aiheuttaa häiriöitä analogia-digitaali- muuntimelle. Olen käyttänyt suojattua kaapelia eliminoimaan näitä häiriöitä.

4.3 Kytkennän suunnittelu

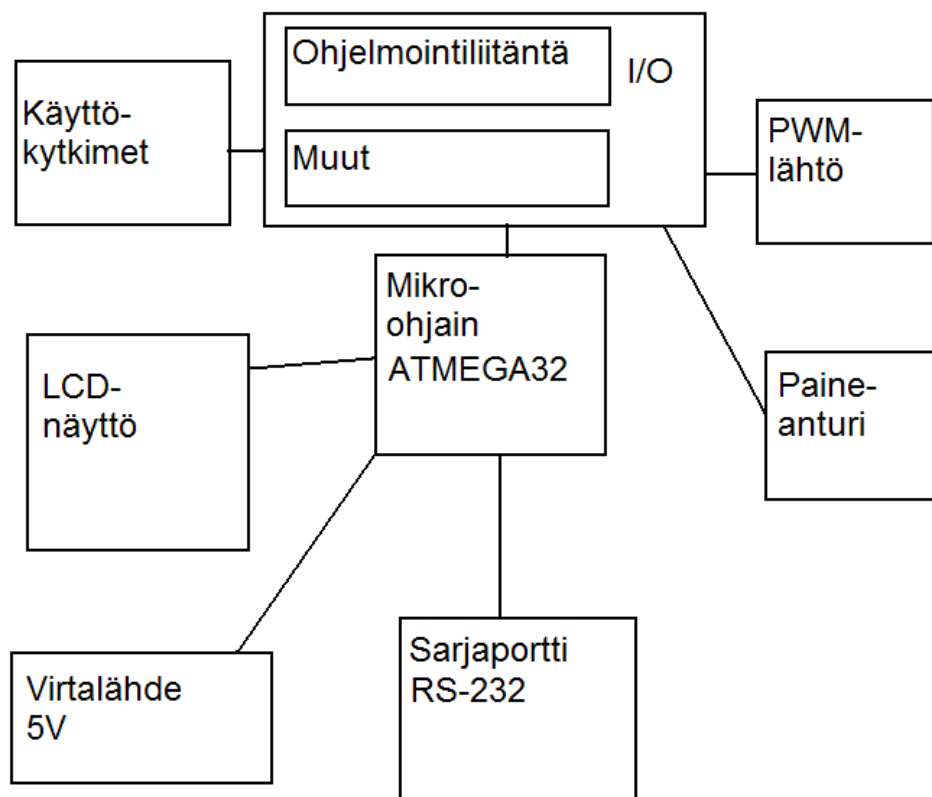
Kytkeä ei haluttu lähteä toteuttamaan liian vaikeasti, vaan tarkoitus oli tehdä yksinkertainen ja toimiva laite. Komponenttien määrä on pidetty pienenä, jolloin 2-kerrospiirilevyllä ei ole tarvetta. Käytetyt komponentit ovat helposti saatavilla olevia ja edullisia. Ensimmäinen versio oli rasteripiirilevyllä rakennettu kytkentä, josta puuttui lcd-näyttö ja sarjaliitäntä. Näin päästiin helposti ja nopeasti testaamaan ohjelmaa sekä keskittymään mahdollisten kytkennän virheiden korjaamiseen.

Kun ensimmäinen versio oli saatu käyttöön ja osittain testattua, piirrettiin kytkentä ja lisättiin siihen kaikki muu tarvittava. Tässä vaiheessa tiedettiin jo ratkaisujen olevan toimivia. Muut ominaisuudet, kuten lcd-näyttö ja sarjaliitäntä, ovat lähes aina kytketty samalla tavalla, joten niiden lisäämisessä ei ollut ongelmia. Muutenkin ytitettiin käyttää tuttuja ja hyväksi havaittuja ratkaisuja.

4.4 Piirikaavion ja layoutin suunnittelu

4.4.1 Piirikaavio

Piirikaavion suunnittelu aloitettiin tekemällä lohkokaavio laitteesta (kuvio 11). Lohkokaavio tehtiin vaatimustenmäärittelyn (liite 1.) perusteella. Piirikaavio tehtiin lohkokaavion pohjalta käyttäen hyväksi olemassa olevia ja testattuja ratkaisuja.



KUVIO 11. Elektroniikan piirikaavio

4.4.2 Layout

Piirikaavion pohjalta suunniteltiin layout. Laite ei ole kovin häiriöherkkä. Sen lisäksi auton sähköjärjestelmän syöttöjännitevaihtelut saadaan hyvin kuriin käytössä olevalle tavallisella lineaariregulaattorilla. Mikään komponentti ei juurikaan lämpene, joten piirilevysuunnittelussa ei ole tarvinnut asiaa huomioida.

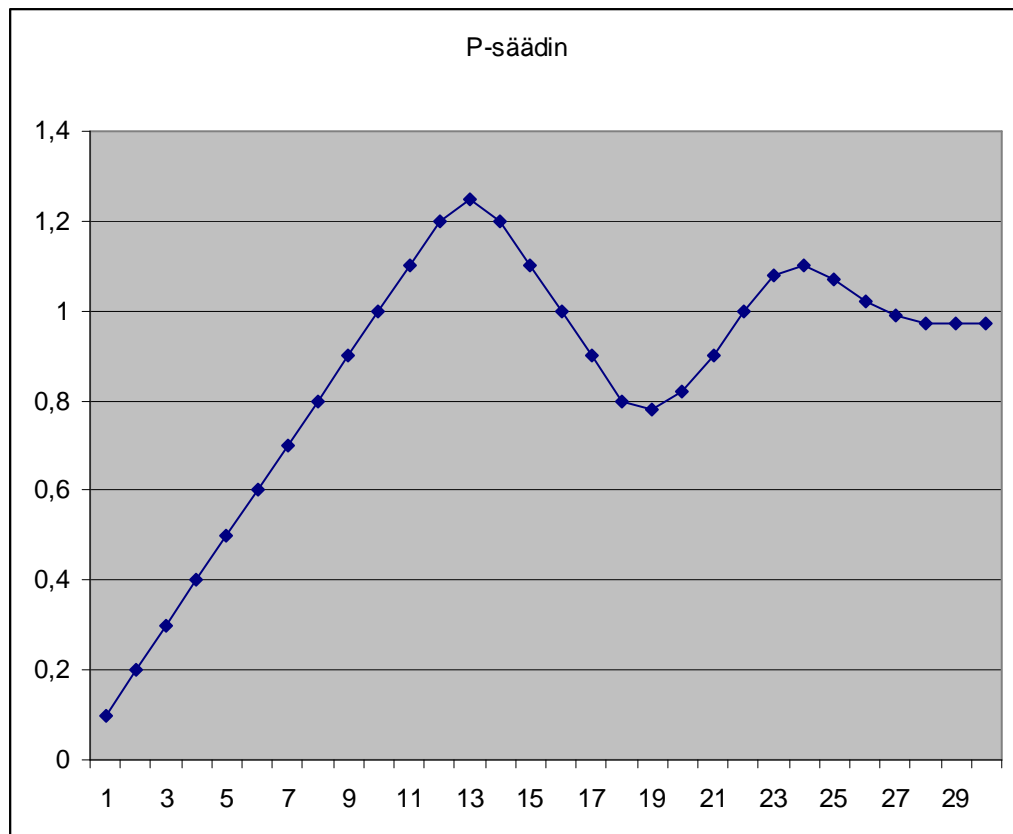
4.5 Levyn valmistus ja kokoaminen

Levyn olisi voinut teettää jossain piirilevytehtaassa, mutta koska levy on 1-puolinen, ja se tarvittiin nopeasti, levyn tehtiin itse normaalilla valotus-syövytysmenetelmällä. Piirilevytehtaassa valmistetut levyt ovat toimintavarmempia kuin itse tehdyt.

Levyllä ei käytetä pintaliitoskomponentteja, joten levyn kokoaminen ei ollut vaikeaa.

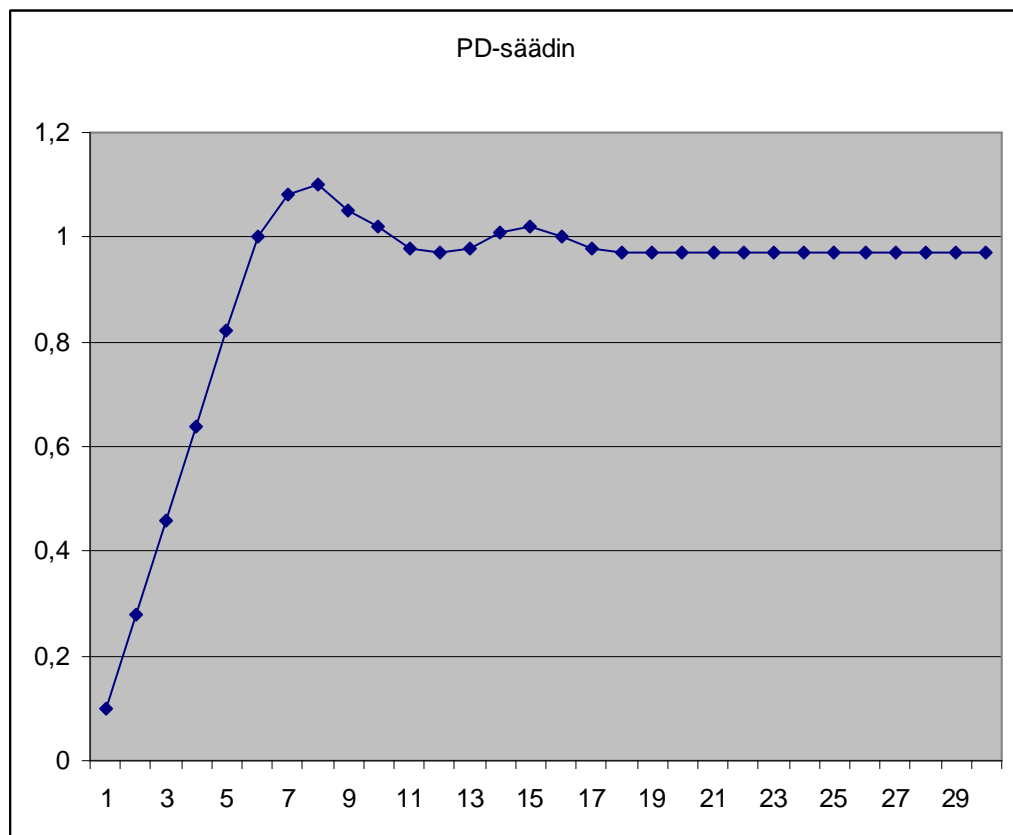
4.6 Ohjelmointi

Ohjelmoinnin perustaksi oli saatu koodi, jonka avulla alettiin kehittää PID-säädintä. Kehittäminen aloitettiin pelkällä P- eli vahvistussäätimellä. Ahtopaineiden noustessa ensi kertaa ne kävivät liian korkealla, ja ennen niiden tasaantumista oli havaittavissa värähtelyä. Kuten kuviosta 12 voidaan todeta, ahtopaine ei säätynyt tasan haluttuun 1 baariin vaan säätöön jäi asentovirhe. Kuvioissa 12, 13 ja 14 y-akselilla on mitattu ahtopaine baareina ja x-akselilla aika kymmenesosasekunteinä.



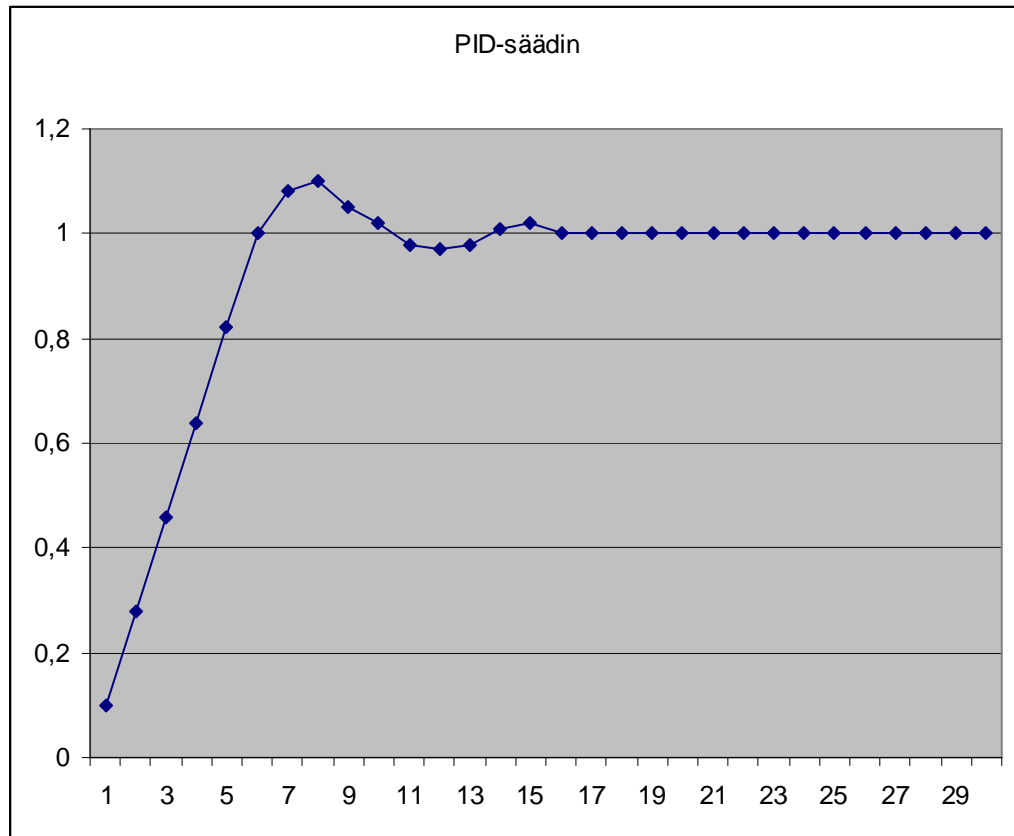
KUVIO 12. P-säädin

Seuraavassa vaiheessa säätimeen lisättiin D-osa eli derivoiva osa. Nimensä mukaisesti se pyrkii ennustamaan tapahtuvaa prosessia ja korjaamaan havaittuja vahvistussäätimen puutteita. PD-säädin paransi ahtopaineiden käyttäytymistä, mikä voidaan havaita kuviosta 13. Ahtopaineiden värähtely oli enää niin pientä, ettei se tässä sovelluksessa ollut merkittävää.



KUVIO 13. PD-säädin

Lopuksi laitteeseen lisättiin I-osa. Integrointiosa tutkii koko ajan eroa haluttuun arvoon, eli kuinka paljon haluttu arvo poikkeaa mitatusta. Se laskee korjausarvon, joka summataan ohjaukseen. Tällä saatiin säätöä vaivannut asentovirhe poistettua, kuten voidaan todeta kuviosta 14.



KUVIO 14. PID-säädin

Työssä ilmeni myös aikaisemmin mainittu ongelma, eli integraalin jumiutuminen. Kun moottoria kuormitettiin kevyesti, ja turbo ei tuottanut riittävästi painetta, alkoi integraali kasvaa liikaa. Ilmennyt ongelma tuntui oudolta, kunnes lisätutustuminen teoriaan antoi vastauksen. Integraalifunktion arvon ei saa antaa muuttua, kun säätimen lähtö on 0 % tai 100 %.

Ohjelmointi oli opettavaista PID-säätimen toiminnan kannalta. Oli kuitenkin mielenkiintoista havaita, miten hyvin yksinkertainen ohjelma ohjasi turboa. Huolimatta erilaisista turbon toimintaan vaikuttavista muuttujista, esimerkiksi moottorin erilaisesta kuormituksesta eri ajotilanteissa, säädin hoiti tehtävänsä yllättävän hyvin.

LCD-näyttöä ja sarjaliitettä oli tarkoitus hyödyntää paremmin tulevaisuudessa. Niiden avulla voidaan säätää laitteen parametreja. Normaalikäytössä sille ei ole tarvetta. Kaupallisena laitteen tulisi olla edullinen ja karsittu. Jonkinlainen säätömahdollisuus

PID- ja muille parametreille olisi hyvä olla olemassa myös ilman säätimen uudelleenohjelmointia. Tämän lisäksi on otettava huomioon, että minun autossani hyvin toimivat parametrit toimivat toisessa autossa todennäköisesti huonommin.

Oman ongelmansa muodosti kolmitieventtiilin sekä turbon kellon aiheuttama säätöprosessin hitaus. Kun säädin muutti ohjaustaan, kesti yllättävän kauan ennen kuin siipien asennon muutos tapahtui. Tässäkin olisi ollut etua sähkötoimisesta servosta siipien ohjauksessa. PID-säädin on kuitenkin toimiva myös viiveellisissä prosesseissa. Sopivilla PID-parametreilla, eli säätimen virityksellä, ongelma poistui. Samanlaista säädön hitautta ilmenee kaikissa PID-säätimellä ohjatuissa prosesseissa. Missään muutos ei tapahdu täysin samalla hetkellä ohjauksen kanssa.

4.7 Testaus

Testausvaihe ja ohjelmointi tapahtuivat tässä työssä samanaikaisesti. Omien koke-
muksien perusteella suosittelen, että aluksi yritetään saada laite toimimaan yksinker-
taisesti. Tämän jälkeen aletaan kehittää sen toimintaa. Alussa saatettiin vain arvailla
turbon tulevaa toimintaa. Ensimmäisellä versiolla testattiin, miten kolmitieventtiili ja
turbon siipien ohjaus reagoivat PWM-signaaliin. Tällä haettiin toiminta-alueita. Aluk-
si ei ollut edes varmaa, voiko käytössä olevaa kolmitieventtiiliä ohjata PWM-
signaalilla. Lisäksi askarrutti, onnistuuko ahtimen ohjaus näin toteutettuna.

Suurin testi laitteelle on ollut auton normaali käyttö. Erilaiset keliolosuhteet, erilainen
kuormitus ja eri kuljettaja ovat vain muutamia muuttujia. Kaikkia muuttujia ei voi
edes listata. Laite on ollut käytössä vajaan vuoden, ja ongelmia ei ole ilmennyt. Elekt-
roniikka on toiminut luotettavasti ja ahtopaineet ovat pysyneet halutunlaisina. Tark-
kuudessa ei ole päästy autonvalmistajien tasolle, mutta heillä onkin käytössään mo-
nimutkaisemmat tietokoneet turbon ohjaukseen ja huomattavasti tiukemmat päästöra-
joitukset. Auton painemittarin mukaan virhe on kuitenkin ollut maksimissaan 0,1 baa-
ria, millä ei ole käytännön merkitystä.

5 POHDINTA

Jo säätimen ensimmäinen versio vaikutti hyvältä. Ohjelmaa kehittämällä ja testaamalla säätimen toimintaa parannettiin. Ohjelmaversioita kertyi monta. Testausvaihetta olisi helpottanut näyttö ja käyttökytkimet. Niillä olisi voitu säätää PID-säätimen parametreja ilman laitteen uudelleenohjelmointia.

Turbon toiminnasta ei vielä ollut tietoa, joten siihen tutustuttiin käyttäen PWM-säädintä. Ajelemalla autolla säätäen samalla käsin turbon toimintaa. Käytössä oli myös ahtopainemittari. Kävi selväksi, miten turboa ohjataan missäkin tilanteessa. Aikaa tähän kului kauan, mutta se oli erittäin tärkeää lopputuloksen kannalta.

Yksi asia, joka askarrutti alusta asti, oli kolmitieventtiilin ja alipainekellon toiminta. Vaikka ne toimivatkin oikein, olisi ollut olemassa parempi ratkaisu. On olemassa myös sähkötoimisella servolla varustettuja VNT-ahtimia, joita ohjataan suoraan pulssinleveysmodulaatiolla. Tällainen ahdin olisi kannattanut laittaa myös omaan autooni. Sääto olisi ollut nopeampi ja tarkempi, minkä lisäksi olisi selvitty yksinkertaisemalla ratkaisulla. Usein aikaisemminkin on huomattu, että yksinkertainen on kaunista ja toimintavarmempaa. Ehkä tulevaisuudessa siirrytään käyttämään sähköservoa. Sen avulla säätöalueesta olisi saatu laajempi. Saavutettu 65 % olisi saatu hyvin lähelle 100 %:a. Mutta tämäkin työ olisi ollut turha, jos kaiken olisi valmiiksi tiennyt ja osannut. Aina pitää pyrkiä parempaan.

Yhteenvetona voidaan todeta laitteen toimivan kuten pitääkin. Sen toiminnalle asetetut tavoitteet saavutettiin. Moottori on edelleen ehjä, minkä lisäksi tehoa sekä vääntöä tuli reilusti lisää koko kierroslukualueelle. Kulutus normaalikäytössä tuntuu laskeeneen kasvaneen hyötysuhteen takia. Vielä ei ole tietoa riittävän pitkältä ajalta, jotta voidaan tehdä tarkempia johtopäätöksiä. Suunnitelmissa on auton tehonmittaus.

Jos tästä työstä haluttaisiin tehdä kaupallinen versio, pitäisi ottaa huomioon muutamia seikkoja. Ensinnäkin mosfetin, joka ohjaa kolmitieventtiiliä, tulisi olla suojattu venttiilin oikosulun tai muun häiriön kannalta. Nyt mosfet rikkoutuu, jos kolmitieventtiilin kela menee oikosulkuun. Vähimmillään sulake riittää, mutta parempi ratkaisu olisi

jonkinlainen virranrajoitus. Laitteen kotelointi pitää tehdä asianmukaisesti. Tämän lisäksi ohjelman tulee sisältää rajoituksia, joilla estetään laitteen vääränlainen käyttö.

LÄHTEET

PID controller. Viitattu 15.11.2009. http://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller

Turbotekniikka – perustietoa muuttuvageometrisista ahtimista. Viitattu 24.8.2009.
http://www.turbotekniikka.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=169&Itemid=118

Vahtera, P. 2003. Mikro-ohjaimen ohjelmointi C-kielellä. 1 p., Porvoo: WSOY.

LIITTEET

Liite 1. Vaatimusten määrittely

Vaatimusten määrittely tehtiin seuraaville kohteille.

tulot:

ahtopaine
kaasun asento
kierrosluku
kytkimiä laitteen käyttöä varten(säädöt)
tarvittaessa alipaineanturi kellon painetta varten
käyttöjännite, autosta 12v

lähdöt:

venttiilin ohjaus pwm
näyttö
usb tai rs232, aluksi ainakin rs232
rele tai kaksi, myöhempää käyttöä varten, ohjelmoitavissa
ledejä? esim vikatila, ylipaine..

ohjelma:

pid säätö, pid parametrit, arvojen tallennus eeprom
pwm
säätö kaasun ja kierrosluvun suhteen, eräänlainen "kartta"
pyydetään jotain painetta, säätö pyrkii siihen
regulointi+häiriönsuodatus, auton sähkö epäsiistiä
kierroslukutiedon tulo
ahtopaineen alipäästösuodatus, samaten alipaineanturi voi vaatia alipäästön
kaasun asento potikalla