

Tero Kemppainen

AKUSTINEN TUULIMITTARI

Insinööri
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Tietotekniikan koulutusohjelma
Syksy 2005

Osasto Tekniikka	Koulutusohjelma Tietotekniikka
Tekijä(t) Tero Kemppainen	
Työn nimi Akustinen tuulimittari	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Langaton tiedonsiirto	Ohjaaja(t) Jukka Heino
Aika Syksy 2005	Sivumäärä 32 + 7
<p>Tiivistelmä</p> <p>Työn tarkoituksena oli suunnitella ja rakentaa Kajaanin ammattikorkeakoululle tuulen nopeuden ja suunnan näyttävä mittari. Työssä suunniteltiin, toteutettiin ja testattiin akustinen tuulimittari.</p> <p>Työssä lähtökohtana oli se, että tuulimittarin pitäisi kestää kovia olosuhteita, ja mittarin antama tulos olisi 10 asteen tarkkuudella oikea. Mittari ei saanut sisältää liikkuvia osia, siksi työ toteutettiin ultraäänitekniikalla. Eri mittausvaihtoehdoista valittiin laitteelle sopivin. Mittari suunniteltiin 8051-prosessorikortille, ja ohjelmoinnissa käytettiin C-kieltä.</p> <p>Tuulimittarille asetetut tavoitteet toteutuivat pääosin. Käytettävissä olevan ajan vuoksi testausta ei ollenkaan ehditty suorittaa, eikä koulun varastoissa ollut kovia olosuhteita kestäviä komponentteja. Periaatteessa itse kytkentä toimi osakokonaisuuksina ja ohjelma toimi testatessa kytkentöjä. Työn kautta opittiin paljon elektroniikan ja ohjelmoinnin yhteensovittamisesta osana laitesuunnittelua.</p>	
Luottamuksellinen	
Kyllä	
Ei x	
Hakusanat Ultraääni sensori, tuulimittari	
Säilytyspaikka Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto	

Faculty	Degree programme
Faculty of Engineering	Information Technology
Tero Kemppainen	
Title	
An Acoustic Wind Sensor	
Optional professional studies	Instructor(s) / Supervisor(s)
Wireless Communication	Jukka Heino
Date	Total number of pages
Sep 2005	32 + 7
Abstract	
<p>This Bachelor's thesis is an acoustic wind sensor. It was designed for Kajaani Polytechnic. The purpose of the thesis was to design, build and test the device, which measures wind speed and the direction of wind.</p> <p>The basis of the thesis was that the wind sensor can survive in a hostile environment, and the measurement results in wind direction are within a 10 degree error margin. Moving parts were not allowed, so the thesis was carried out by using ultrasonic technology. The correct way to measure wind was decided. The wind sensor was designed for a 8051 processor board, and the C language was used in programming.</p> <p>The objectives for the wind sensor were not totally reached. Lack of time was the reason that testing was missing, also the Polytechnic had no durable components for a hostile environment. In principle the hardware of the wind sensor worked and the program worked when testing the device. The thesis taught lots of electronics and programming. Combining electronics and programming together is an important part of device designing.</p>	
Confidential	
Yes	
No <input checked="" type="checkbox"/>	
Keywords	
Acoustic sensor, wind sensor	
Deposited at	
Kajaani polytechnic	

ALKUSANAT

Insinööriyön tarkoituksena oli suunnitella ja rakentaa akustinen tuulimittari, joka toimii 40 kHz taajuudella. Tuulimittarin täytyi pystyä mittaamaan nopeus ja suunta 10° tarkkuudella.

Työn ohjaajana toimi yliopettaja Jukka Heino, jota haluan kiittää tuesta työn eri vaiheissa. Kiitos kuuluu erityisesti opettaja Ismo Talukselle siitä tärkeästä avusta, jota sain tarvittaessa, ja kiitän myös Harri Honkasta. Kieliasun ohjauksesta kiitän Eero Soinista ja abstraktin ohjauksesta Kaisu Korhosta. Kiitän myös avusta ja tuesta kihlattuani Niina Huikuria sekä veljeäni Mika Kemppaista. Olen myös tyytyväinen omaan suoritukseeni, koska pystyin saattamaan työni loppuun, vakavasta tenniskyynärpäystä huolimatta.

SISÄLLYSLUETTELO

LYHENTEIDEN JA KÄSITTEIDEN SELITYKSET.....	7
1 JOHDANTO	8
2 TUULEN, ULTRAÄÄNEN JA TUULENMITTAUKSEN TEORIA.....	10
2.1 Tuuli teoriassa	10
2.2 Myrsky	12
2.3 Maapallon tuulijärjestelmät	14
2.4 Tuulen suunta.....	17
2.5 Ultraääni	17
2.6 Tuulen mittauksen teoria	18
3 KYTKENNÄN SUUNNITTELU	21
3.1 Kaistanpäästövahvistin.....	21
3.2 Instrumentointivahvistin	22
3.3 Regulointipiiri	23
3.4 A-D -muunnin	23
3.5 RS 232 -sarjaporttikytkentä	24
3.6 NE555-ajastinpiiri	24
4 KÄYTTÖOHJELMAN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS.....	25
4.1 Suunnittelu	25
4.2 Toteutus	25
5 TESTAUS	26
5.1 Kaistanpäästösuodin	26
5.2 RS 232	26
5.3 A-D -muunnin	26
5.4 NE555	27
6 KÄYTÄNNÖN ONGELMAT SUUNNITTELUSSA	28
6.1 Ongelmat fyysisen laitteen kanssa	28
6.2 Ongelmat ohjelmakoodin ja emulaattorin kanssa	29
7 YHTEENVETO.....	30

LÄHDELUETTELO
LIITTEET

LYHENTEIDEN JA KÄSITTEIDEN SELITYKSET

8051	Maailman yleisimpiä mikrokontrollereita, joita myös Kajaanin ammattikorkeakoulu käyttää.
555	Yli 30 vuotta käytössä ollut ajastinpiiri.
RS 232	Yleinen standardi sarjaliikenteessä.
A-D-muunnin	Laite, joka muuttaa analogisen signaalin digitaaliseksi.

1 JOHDANTO

Tuuli on ilmamassojen liikettä, joka syntyy ilman lämmitessä ja siirtyessä paikasta toiseen. Tuuli syntyy ilman epätasaisesta lämpenemisestä aiheutuvasta paine-erosta. Tietoa tuulen nopeudesta ja suunnasta tarvitaan lukuisissa tilanteissa ja toiminnoissa, kuten meteorologiassa, liikenteessä, teollisuudessa, rakentamisessa ja tutkimuksessa.

Meteorologit tarvitsevat tuulitietoa niin sääennusteisiin kuin arvioidessaan pitkän aikavälin ilmastonmuutoksia.

Tuulella on myös liikenteessä suuri merkitys. Lentokentällä tuulen nopeus ja suunta on tiedettävä varmistamaan turvallisuutta erityisesti koneiden noustessa ja laskeutuessa. Tie- ja rautatiesääasemilla tuulen mittaus on oleellista. Tuulta mitataan erityisen tarkkaan määriteltäessä siltojen turvallisuutta. Laivaliikenteessä navigointi perustuu tuulitietoihin. Satamissa tuulen mittauksen avulla varmistetaan laivaliikenteen turvallisuus.

Erilaiset voimalaitokset käyttävät tuulitietoja päivittäisessä toiminnassaan. Tuuli-voimalat käyttävät tuulitietoa turbiinien hallintaan. Tuuliturbiinin tehokkuutta voidaan tarkastella vertaamalla sen tuloksia mitattuun tuulen nopeuteen. Tuulitieto auttaa myös ydinvoimaloita välttämään ympäristövahinkoja. [1.]

Tuulimittarit ovat kehittyneet perinteisistä tuuliviireistä digitaalisiin laitteisiin, joissa pyörivät osat ilmoittavat suunnan ja nopeuden. Nykyään kehitys on menossa yhä enemmän ääniaalloilla toimiviin laitteisiin, joissa ei ole kuluvia eikä liikkuvia osia.

Tässä työssä suunniteltiin, toteutettiin ja testattiin akustinen tuulimittari. Työhön liittyi myös tuulimittarin ohjelmointi C-kielillä ja ohjelman testaus.

Työssä lähtökohtana oli se, että tuulimittarin pitäisi kestää kovia olosuhteita, esimerkiksi purjelentoa. Mittarin näyttämä tuulen suunta pitäisi pysyä ainakin 10°

tarkkuudella todellisesta, ja tuulen nopeutta pitäisi pystyä mittaamaan kovassakin tuulessa. Tuulimittari ei myöskään saanut sisältää liikkuvia osia, vaan työ piti tehdä ultraäänitekniikkaa soveltamalla. Työ oli tarkoitus tehdä normaalille piirilevyille juottamalla.

2 TUULEN, ULTRAÄÄNEN JA TUULENMITTAUKSEN TEORIA

2.1 Tuuli teoriassa

Tuuli on ilmamassojen liikettä, joka syntyy auringon lämmittäessä maanpintaa. Maanpintaa lähellä olevat ilmamassat lämpenevät ja kohoavat ylöspäin, koska lämmin ilma on kevyempää kuin kylmä ilma. Lämpimän ilman kohotessa ylös syntyy matalapaine, ja sinne mistä ilmaa lähtee kohoamaan syntyy korkeapaine. Korkeapaineista ilmaa virtaa maan pintaa pitkin matalapaineen alueelle täyttäen vajauksen siellä. Syntynyttä ilmavirtausta kutsutaan tuuleksi. Tuuli syntyy siten ilman epätasaisesta lämpenemisestä aiheutuvista paine-eroista. [2.]

Tuulen nopeudella ja ilmanpaineella on yhteys. Mitä nopeammin ilmanpaine muuttuu (laskee tai nousee) lyhyellä matkalla siirryttäessä pisteestä A pisteeseen B, sitä voimakkaammin tuulee. Tämä näkyy sääkartalla siten, että mitä lähempänä toisiaan isobaarit eli saman ilmanpaineen käyrät ovat toisiaan, sitä enemmän tuulee. Voimakkaimmat tuulet ovat lähellä matalapaineen keskusta (ei kuitenkaan aivan keskustassa) ja säärintamia. [3.]

Tuuli on siis välillisesti aurinkoenergiaa ja siten seurausta ilmakehän tasapainohakuisuudesta lämpötilan ja paineen suhteen. Tuuli on sitä nopeampaa, mitä suurempi on ilmanpaineiden ero, sekä mitä lyhyempi on korkea- ja matalapaine keskusten välinen matka.

Tuulen suuntaan vaikuttaa lisäksi maan pyörimisliikkeen poistovoima eli Coriolisvoima. Coriolisvoima perustuu siihen, että maapallon pyörimisliikkeestä johtuen jokainen maapallon pinnalla tai sitä ympäröivässä ilmakehässä oleva liikkuva kappale, liikkuvat ilmanosaset siis mukaanlukien, saa pohjoisella pallonpuoliskolla kiihtyvyyden oikealle sekä eteläisellä pallonpuoliskolla vasemmalle. Päiväntasajalla Coriolisvoima ei vaikuta. Coriolisvoiman suuruus on suoraan verrannollinen kappaleen nopeuteen. Se ei siis vaikuta kappaleen nopeuteen mitenkään, vaan ainoastaan sen liikesuuntaan. [2.]

Lisäksi tuuleen vaikuttaa keskipakovoima sekä kitka. Keskipakovoima on sitä suurempi, mitä kaarevampi tuulen rata on ja sen suuruus on verrannollinen tuulen nopeuden neliöön. Paine-eroon ja Coriolisvoimaan verrattuna tämä voima on yleensä pienempi. Kitka vaikuttaa lähellä maan pintaa virtausnopeuden pienemiseen. Kun nopeus pienenee, myös Coriolisvoima pienenee ja siten tuulen suunta muuttuu. Meren yläpuolella kitkan vaikutus on pieni. Heikoilla tuulilla kitka voi aiheuttaa jopa 45 asteen poikkeaman tuulen alkuperäisestä suunnasta. [2.]

Lähellä maanpintaa tuuleen vaikuttaa kitkan lisäksi maanpinnan laatu ("rosoisuus"). Näiden vaikutus pienenee noustessa maanpinnalta korkeammalle siten, että tuulen nopeus kasvaa karkeasti sanottuna kaksinkertaiseksi siirryttäessä 10 metrin korkeudesta 35 metrin korkeuteen. Kitkavoima ei vaikuta tuuleen enää 300 - 1000 metrin korkeudessa, jolloin tuulta sanotaan gradientituuleksi. [2.]

Tuulet voidaan jakaa planetaarisiin, alueellisiin sekä paikallisiin. Planetaarisia tuulia ovat kääntöpiirien ja päiväntasaajan välisellä alueella esiintyvät pasaattituulet, keskileveysien länsituulet ja napa-alueiden itätuulet. Alueellisista tuulista merkittävimpiä ovat monsuunituulet, joita esiintyy mm. Etelä- ja Kaakkois-Aasian sekä Pohjois-Australiassa. Paikallistuulia ovat esim. järvien ja merien rannoilla esiintyvät maa- ja merituulet. [2.]

Suomessa tuulee eniten rannikko- ja tunturialueilla sekä saaristossa. Lapin tuntureilla tuulen keskinopeus on 7 - 9,5 m/s, rannikoilla 6 - 6,5 m/s sekä saaristossa 6 - 7,5 m/s . Voimakkaimmin tuulee alku- ja loppuvuodesta eli ajankohtana, jolloin ilman lämpötila on alhaisimmillaan ja siten sähkönkulutus suurimmillaan. Esimerkiksi Suomen saaristossa heinäkuussa tuulen energiasisältö on vain noin 30 % tammikuun tuulen energiasisällöstä. [2.] Kuvassa 1 on esitetty Suomen tuuli-alueiden jakautuminen.



Kuva 1. Suomen tuuliaalueet [2]

Suomi kuuluu nk. länsituulivyöhykkeeseen ja meillä on keskimäärin suuremmat tuulennopeudet. Tämä tarkoittaa käytännössä suurempia tuulienergiaresursseja maan pinta-alaa kohden kuin pohjoisella pallonpuoliskolla yleensä. Suurimmillaan tuulennopeus on Suomen rannikoilla 20 - 25 m/s ja sisämaassa 15 - 19 m/s. Ilmatieteen laitos liittyy tarvittaessa sääennustuksiin tuulivaroituksia. Huomautus veneilijöille annetaan, kun tuulen ennustetaan olevan 11 - 13 m/s ja kovan tuulen varoitus merialueille, kun tuulen nopeus on 14 - 20 m/s. Myrskyvaroitus annetaan, kun tuulen nopeuden ennustetaan olevan vähintään 21 m/s. Myös maa-alueille ja sisävesille on omat tuulivaroituksensa. [3.]

2.2 Myrsky

Suomessa myrskyksi kutsutaan, kun kymmenen minuutin keskituuleksi on mitattu vähintään 21 m/s (noin 76 km/h). Suomessa myrskytilanteita havaitaan lähes yksinomaan vain merialueilla ja tunturien laeilla. Vaikka voimakkaiden ukkosten, rajuilmojen yhteydessä esiintyy voimakkaita tuulen puuskia, joskus jopa yli 15 metriä sekunnissa. Suomessa ei ole siltikään mitattu 10 minuutin keskituuleksi 21 metriä sekunnissa, tunturien lakialueita ja Utsjokea lukuun ottamatta. Maa-alueilta ei ole mitattu siis myrskyiksi luokiteltavia sääilmiöitä. [3.] Taulukossa 1 on

kansainvälinen tuuliasteikko ja taulukossa 2 on kuvattu tuulen vaikutus ympäristöön. Viimeaikojen tuhoisin myrsky, hirmumyrsky Katrina puhalsi pahimmillaan 200 kilometriä tunnissa (55 m/s), puuskittainen tuuli oli ajoittain suurempikin. Hirmumyrskyn tuulenopeus oli siis erittäin tuhovoimaista, joka selittääkin sen aiheuttamat laajat tuhot.

Taulukko 1. Kansainvälinen tuuliasteikko.

0 m/s	Tyyntä
1-3 m/s	Heikkoa tuulta
4-7 m/s	Kohtalaista tuulta
8-13 m/s	Navakkaa tuulta
14-20 m/s	Kovaa tuulta
21-32 m/s	Myrskyä
yli 32 m/s	Hirmumyrskyä

Taulukko 2. Tuulen nopeuden vaikutus ympäristöön [3]

Tuulen nopeus (m/s)	Tuulen nimitys	Tuulen vaikutus maalla	Tuulen vaikutus merellä
0	Tyyntä	Savu nousee pystysuoraan.	Peilityyni meri.
1 - 2	Heikkoa	Tuulen suunnan näkee savun liikkeestä. Tuuliviiri ei käänny.	Meren pinnalla pientä karettä.
2 - 3	Heikkoa	Tuulen tuntee iholla. Puiden lehdet kahisevat. Tavallinen viiri kääntyy.	Lyhyitä aaltoja, jotka eivät murru.
4 - 5	Kohtalaista	Puiden lehdet ja lehvät liikkuvat. Kevyt lippu suoristuu.	Aallon harjat murtuvat silloin tällöin. Läpinäkyvää vaahtoa aallon harjalla.
6 - 7	Kohtalaista	Pienet oksat heiluvat. Nostaa maasta pölyä ja irtonaisia paperin palasia.	Pitkähköjä aaltoja. Vaahtopäitä, jotka kohahtelevat.
8 - 10	Navakkaa	Pienukset lehtipuut heiluvat. Järvenselällä vaahtopäitä.	Aallon harjat kauttaaltaan valkoisina vaahtopäinä. Meri kohisee jatkuvasti.
11 - 13	Navakkaa	Suuret oksat heiluvat. Tuuli suhisee sattuessaan taloihin ja kiinteisiin esineisiin.	Aaltojen vaahto leviää. Meri kohisee kumeasti.
14 - 16	Kovaa	Puut heiluvat. Tuulta vasten kulkeminen vaikeaa.	Aaltojen huiput murtuvat. Vaahto järjestyy tuulen suuntaisiksi juoviksi. Kohina kuuluu kauas.
17 - 20	Kovaa	Katkoo puiden oksia. Ulkona liikkuminen vaikeaa.	Aallot pitkiä ja verraten korkeita. Vaahto tiheinä tuulen suuntaisina juovina.
21 - 24	Myrskyä	Katkoo puita. Vaurioittaa heikohkoja rakennuksia, irroittaa kattotiliä ja särkee savupiipun hattuja.	Aallot korkeita. Aaltojen pärske huonontaa näkyvyyttä hiukan. Meri pauhaa.
25 - 28	Myrskyä	Kiskoo puita juurineen. Aiheuttaa huomattavaa vahinkoa rakennuksille. Sattuu harvoin sisämaassa.	Aaltovuoria. Merenpinta valkoisena vaahtosta. Pauhu kovaa, puuskittaista. Aaltojen pärske huonontaa näkyvyyttä.
29 - 31	Myrskyä	Kaataa metsää. Siirtää rakennuksia. Sattuu erittäin harvoin sisämaassa.	Näköpiirissä olevat laivat katoavat aaltovuorien taakse. Koko merenpinta valkoisena. Pärske huonontaa näkyvyyttä huomattavasti.
32 tai enemmän	Hirmumyrsky	Tuhoaa perinpohjin rakennukset ym.	Koko merenpinta valkoisena. Näkyvyys erittäin huono.

2.3 Maapallon tuulijärjestelmät

Laajamittaiset tuulet

Aurinko lämmittää maapalloa epätasaisesti ja periaatteessa tämä saa aikaan laajamittaiset tuulet, sillä lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan. Päiväntasaajalta virtaa napaseuduille lämpöä sekä ilmavirtausten mukana että merivirroissa. Maapallon suurista tuulijärjestelmistä tunnetuimmat ovat päiväntasaajan molemmin puolin puhaltavat pasaatituulet sekä meidän leveysasteillamme vaikuttavat länsituulet. Länsituulten takia matalapaineet kulkeutuvat Suomen yli useimmiten lännestä itään.

Paikalliset tuulet

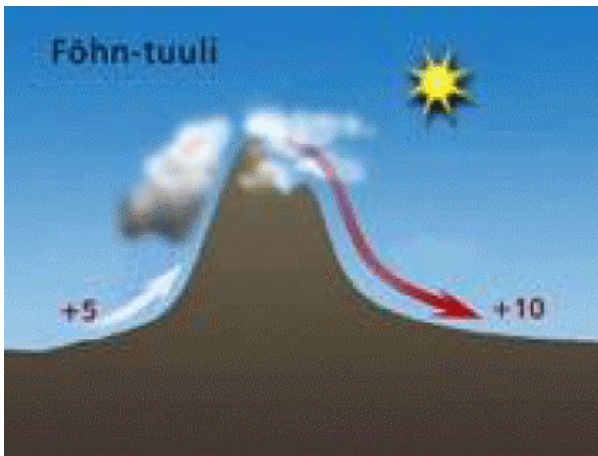
Suurten tuulijärjestelmien ohella on olemassa myös paikallistuulia. Niihin kuuluu esim. loppukevään ja alkukesän aikana toisinaan puhaltava merituuli, joka kääntää rannikon tuntumassa tuulen puhaltamaan päivällä mereltä ja siksi rannikolla on sisämaata viileämpää. Vastaavasti merituulen laannuttua illalla, yöksi saattaa kehittyä päinvastaiseen suuntaan puhaltava heikko maatuuli. Vuoristoalueilla auringonlämmityksen vaikutuksesta kehitty nk. vuori-laaksotuuli. Päivällä auringon lämmittäessä ilma virtaa ylös vuorenrintettä ja yöllä sään viiletessä, kylmä ilma valuu raskaampana vuoren rinteitä alas. Molemmat edellämainitut paikalliset tuulijärjestelmät voivat syntyä vain auringonpaisteen seurauksena - toisin kuin föhn-tuuli. [4.]

Skandien föhn-tuuli

Föhn-ilmiö syntyy ilman virratessa vuoriston yli, oleellista on myös tuulen suunta, voimakkuus ja ilman kosteussisältö. Useimmiten ilma virtaa siis tänne Pohjolaan lännen puolelta. Tästä johtuu myös se, että vuositasolla Fennoskandian suurimmat sademäärät havaitaan Norjan rannikolla, sillä valtaosa sateista jää yleensä vuoriston "tuulen puolelle". Kun Atlantilta virtaava ilma saavuttaa Norjan rannikon ja Skandit se joutuu nousemaan pitkin vuorenrintettä. Ilma jäähtyy samalla ja niin kauan, kun ilman sisältämä vesi pysyy näkymättömänä höyrynä, lämpötilan lasku on noin asteen verran sadan metrin nousua kohden. Usein nousevaan ilmaan muodostuu kuitenkin pilvi ja silloin vapautuu lämpöä vesihöyryn tiivistyessä pilvipisaroiksi. Siinä vaiheessa lämpötilan lasku hidastuu noin puoleen asteeseen sataa metriä kohden. [4.] Kuvassa 2 föhn-tuuli.

Usein voimakkaalla länsituulella sateet jäävät kokonaan Norjan puolelle, ja ilman ylitettyä vuoristonhuiput pilvet alkavat hälvetä. Kun kuivunut ilma sitten laskee vuorenrintettä alas Ruotsin puolella lämpötila nousee taas asteen verran sataa metriä kohden. Lopputuloksena on siis se, että lämpötila on vuoriston ylityksen jälkeen korkeampi kuin mitä se alun perin oli vuoriston toisella puolella. Riittävän voimakkaalla puhalluksella lämpimän ilman vaikutus voi tuntua Suomessakin.

Lämpötila voi föhn-tuulen vaikutuksesta hetkessä hujahtaa jopa kymmenen asteen lämpimämmälle puolelle keskellä helmikuuta. [4.]



Kuva 2. Föhn-tuuli [4]

Föhn-tuuli Suomessa

Määritelmänsä mukaan föhn on lämmin ja kuiva laskutuuli. Suomessa Skandien itäpuolella föhnin vaikutus on vähäisempää kuin Alpeilla ja Kalliovuorilla, mutta toisinaan föhn aikaansaa meilläkin aurinkoisen ja lauhan talvisään. [4.]

Suomessa föhn vaikuttaa voimakkaan länsivirtauksen yhteydessä. Klassisen föhn-teorian mukaan ilma on Skandien itäpuolella kuivempaa, kun se on sateen myötä menettänyt suuren osan kosteudestaan noustessaan pakotettuna ylös Norjan rannikolla. Kun ilmavirtaus on ylittänyt Skandit se pyrkii palaamaan maan-pinnalle kohti tasapainoasemaansa. Tällöin ilmassa lämpenee tehokkaasti, kun sen kosteussisältö on vuoriston tuulenpuolen sateissa vähentynyt. Suomessa talvisen länsituulen lämmitysvaikutusta tehostaa lisäksi Golf-virta, jonka vuoksi Atlanti pysyy on sulana.

Pasaatituuli

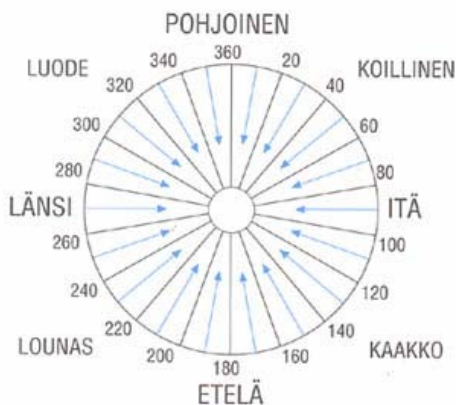
Syntyy molemmille puolille päiväntasaajaa, kun hepoasteilla vallitsevilta korkeapainevyöhykkeiltä säännölliset planetaariset tuulet puhaltavat kohti päiväntasaajaa. Pohjoisella pallonpuoliskolla Coriolisvoiman vaikutuksesta tuulen suunta on koillinen (koillispasaati) ja eteläisellä pallonpuoliskolla se on kaakko (kaakkoispasaati).

Länsituuli

Hepoasteiden korkeapaineen alueella ilma lämpenee ja sen suhteellinen kosteus laskee, jolloin alueella vallitsee usein aurinkoinen sää. Osa laskeutuvasta ilmasta siis kääntyy pasaateina päiväntasaajalle, mutta osa kohti napoja muodostaen länsituulten vyöhykkeen (polaarimassa). Coriolisvoiman vaikutuksesta ne kiertyvät puhaltamaan lähes lännestä. Koska napoja kohti virtaava ilma jäähtyy, sen suhteellinen kosteus kasvaa, joten ilmasto tyypillisesti kosteaa. Coriolisvoiman vaikutus saa tuulen liikkumaan pohjoisella pallonpuoliskolla oikealle ja eteläisellä vasemmalle.

2.4 Tuulen suunta

Kun tuulta mitataan ja ilmoitetaan tuulen suunta, tarkoitetaan aina, että tuuli puhaltaa kyseisestä ilmansuunnasta havaittajaa kohti. Niinpä etelätuuli puhaltaa etelästä ja länsituuli lännestä ja niin edelleen. Tämä näkyy tuulensuuntaruususta joka on kuvassa 3.



Kuva 3. Tuulen suunnan määrittäminen [3]

2.5 Ultraääni

Ultraäänellä tarkoitetaan ihmisen kuuloalueen yläpuolella (20 kHz - 10 GHz) olevaa akustista aaltoliikettä. Ultraäänen etenemisnopeus ilmassa on noin 340

m/s, johon vaikuttavat ilman lämpötila, ilmanpaine, kosteus, ilmavirtaukset ja ilmansaasteet. Ultraääni muodostetaan yleensä pietsosähköisellä tai magnetostriktiivisellä muuntimella, jossa sähköenergia muuttuu mekaaniseksi energiaksi. Mekaaninen energia saadaan aikaan pietsosähköisellä kiteellä, jonka yli annetaan vaikuttaa vaihtovirtaa. Kiteen paksuus muuttuu jännitteen muutosten tahdissa. Äänentaajuus riippuu kiteen lepopaksuudesta. Vastaanottimessa äänen osuessa kiteeseen kide alkaa värähtelemään. Värähtelyt aiheuttavat jännitteen, joka voidaan mitata.

Kiinteät aineet aiheuttavat yleensä ultraäänen voimakkaan heijastuksen, kun kappaleen koko on selvästi ultraäänen aallonpituutta suurempi (käytännössä muutama millimetri). Kuumat pinnat ovat huonoja heijastimia, ja huokoiset epäta-saiset pinnat heikentävät kaikuja.

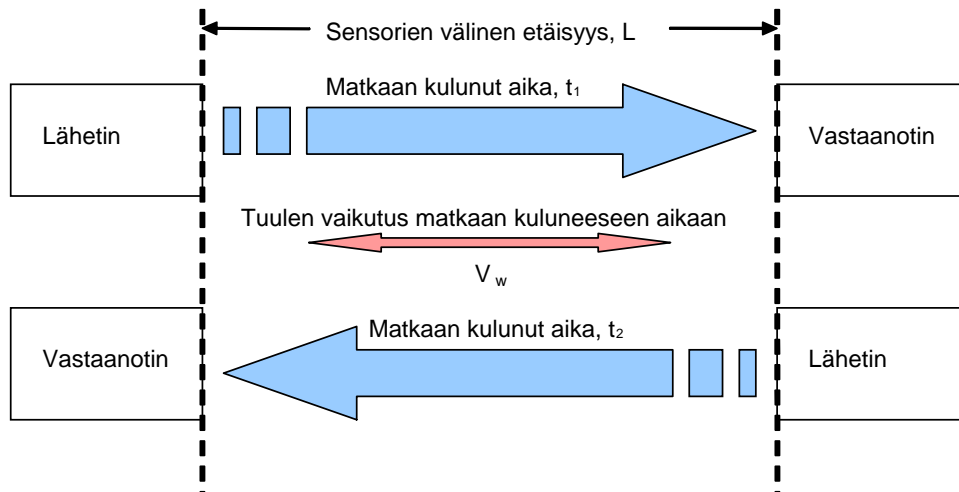
2.6 Tuulen mittauksen teoria

Ultraäänellä toimivat tuulimittarit hyödyntävät ilman virtaavaa ominaisuutta. Ilmamassan liikkuaessa äänikin liikkuu ilmavirran mukana. Vertaamalla äänisignaalia alkuperäiseen signaaliin voidaan suoraan havaita vaihe-ero.

Vaihe-ero muodostuu, kun verrataan alkuperäistä signaalia tuulen läpi kulkeneeseen signaaliin. Lähetysaika kasvaa, kun kyseessä on vastatuuli, ja lähetysaika pienenee myötätuulella. Lähetysajan muuttuminen on verrannollinen tuulen nopeuteen. Vaihe-erosta saadaan tuulen nopeus. Vertaamalla kahta nopeutta (kun niiden välinen kulma tiedetään) saadaan laskettua tuulen suunta Pythagoraan lauseella. [1.] Kuvassa 4 on esitetty, miten asia toimii käytännössä. Kaavalla 1 lasketaan tuulen vaikutus äänen nopeuteen.

$$\text{Äänennopeus ilmassa } V_x: \frac{1}{t_1} = \frac{V_s + V_w}{L} \text{ ja } \frac{1}{t_2} = \frac{V_s - V_w}{L}$$

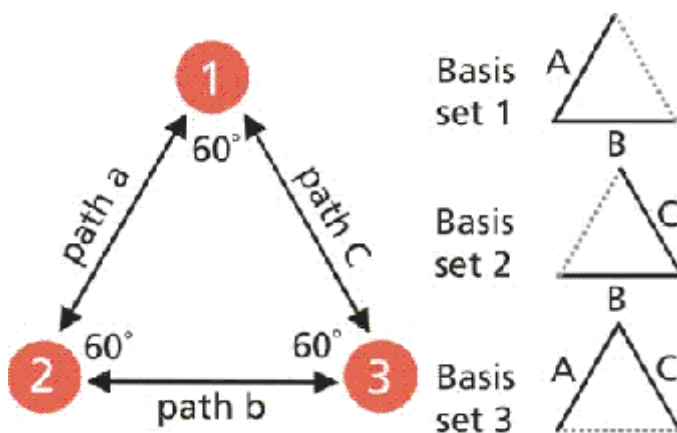
$$\text{Ratkaistaan } V_w: V_w = \frac{L}{2} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \quad (1)$$



Kuva 4. Tuulen vaikutus ultraääneen

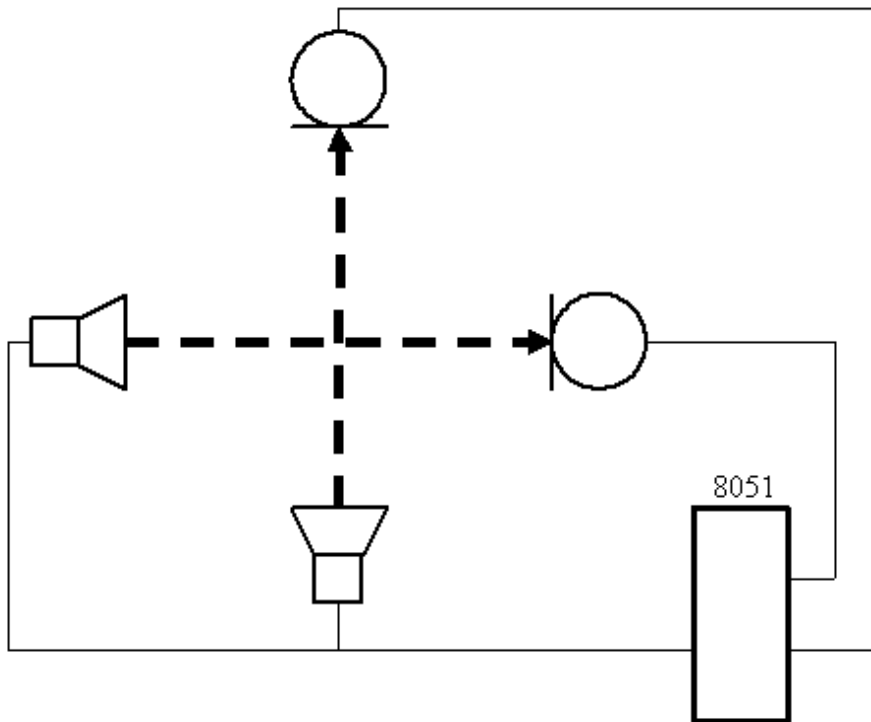
Lähetin-vastaanotinkytkenät:

Kolme lähetin-vastaanotinta, jotka muodostavat kuvan 5 mukaisen kolmion, ovat 60° asteen kulmissa toisiinsa nähden. Näin ne mahdollistavat tarkan tuulen mittauksen kaikista suunnista, ilman sokeita kulmia tai vääristyneitä arvoja [1]. Kolmioasettelussa saadaan kolme eri reittiä signaaleille, mistä seuraa kolme mahdollista perusvektorin paikkaa, jotka on kuvassa merkitty a:lla, b:llä ja c:llä. Näillä voidaan varmistaa jokaisen kolmen vektorin oikeellisuus. Kolmioasettelussa haittapuolena ovat monimutkaiset laskutoimitukset verrattuna kahden mikrofonin ja kahden lähettimen järjestelmään.



Kuva 5. Kolmen lähetin-vastaanotinmikrofonin asettelu [1]

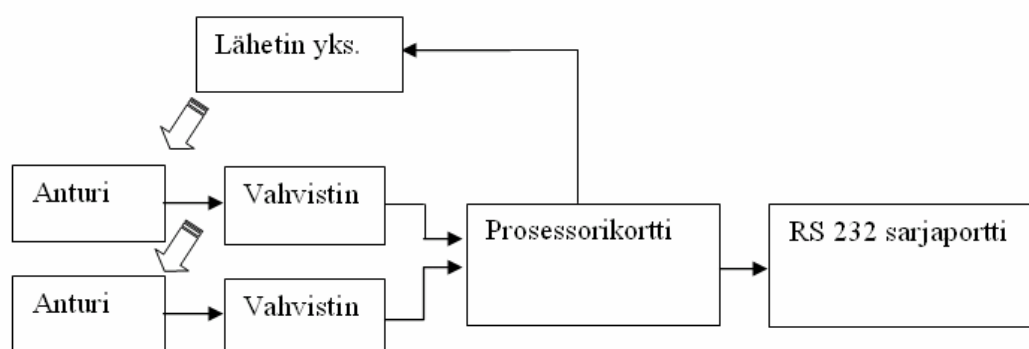
Kaksi lähetintä ja kaksi vastaanotinta, jotka ovat 90° kulmassa toisiinsa nähden, on helpoin tapa mitata tuulen suuntaa ja nopeutta. Tässä tapauksessa muodostuu kaksi vektoria, jotka on helppo laskea yhteen, ja tuulen nopeuden ja suunnan yhtälö on yksinkertaisempi toteuttaa. Kuvassa 6 näkyy kytkentätavan yksinkertaisuus. Mittaustuloksesta ei tule kuitenkaan kovin tarkka, mutta työn vaatimustaso oli vain 10° :n tarkkuus, joten se riittää hyvin. Työn toteuttamiseen käytettiin juuri tätä tapaa.



Kuva 6. Kahden lähettimen ja vastaanottimen kytkentä

3 KYTKENNÄN SUUNNITTELU

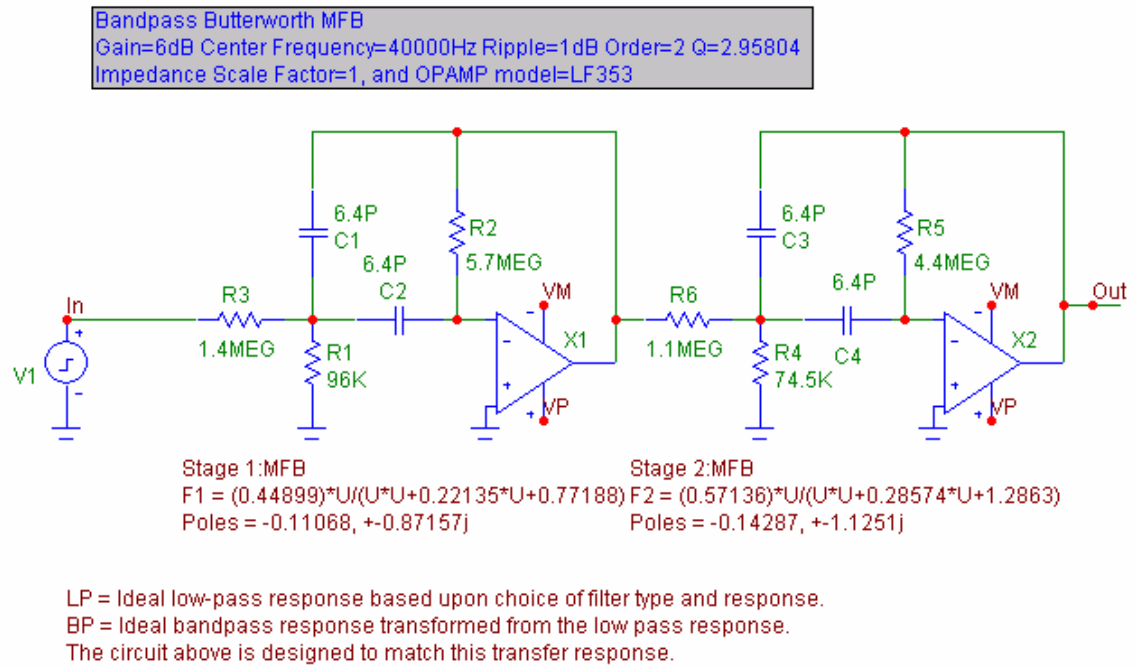
Laitteen suunnittelussa pyrittiin saamaan aikaan mahdollisimman yksinkertainen ja toimiva laite. Teknillisesti suunnittelun vaatimissa valinnoissa oli useampia mahdollisuuksia, joista vain osa oli järkeviä laitteen kannalta. Laitteeseen tulevien osien piti olla kohtuuhintaisia ja löytyä koulun varastosta. Koulun varastossa olleet komponentit sanelivat, millainen kytkennästä tuli. Kuvassa 4 on valitun kytkentätyypin lohkokaaviokuva. Kytkentätyyppi valittiin siksi, koska se oli yksinkertainen, halpa ja helposti muokattavissa. Molemmille antureille jouduttiin tekemään oma identtinen kytkentä. Liitteessä A on kuvattu kokonaiskytkentä laitteesta ja liitteessä B on esitelty kuvat valmiiksi rakennetusta laitteesta.



Kuva 7. Kytkennän lohkokaaviokuva

3.1 Kaistanpäästövahvistin

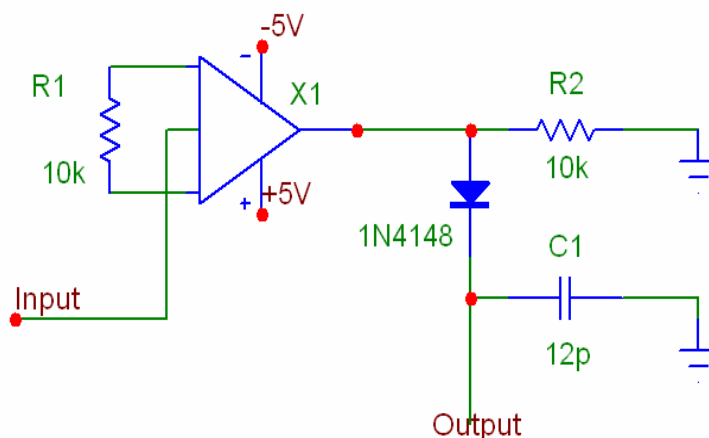
Kaistanpäästövahvistimen suunnittelussa oli tarkoituksena päästää läpi 40 kHz signaali ja vaimentaa kaikki muut taajuudet. Vahvistimen kaistan leveys oli ± 1 kHz, eli vahvistimen käyttöalue oli 39 - 41 kHz ja vahvistimeen kuului kaksi vahvistinastetta. Kytkentä suunniteltiin Microcap-ohjelman Passive filter design -osaa hyväksi käyttäen, kuva kytkennästä on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Microcap-ohjelmalla suunniteltu kaistanpäästövahvistin

3.2 Instrumentointivahvistin

Instrumentointivahvistimen tarkoituksena on vahvistaa kaistanpäästövahvistimelta tulevaa signaalia. Koska kaistanpäästövahvistin toimii suotimena, niin sen vahvistuskerroin jää vaatimattomaksi. Instrumentointivahvistimen tehtävä on vahvistaa kaistanpäästövahvistimelta tuleva signaali halutun suuruisiksi. Kuvassa 9 on instrumentointivahvistimen kytkentä.



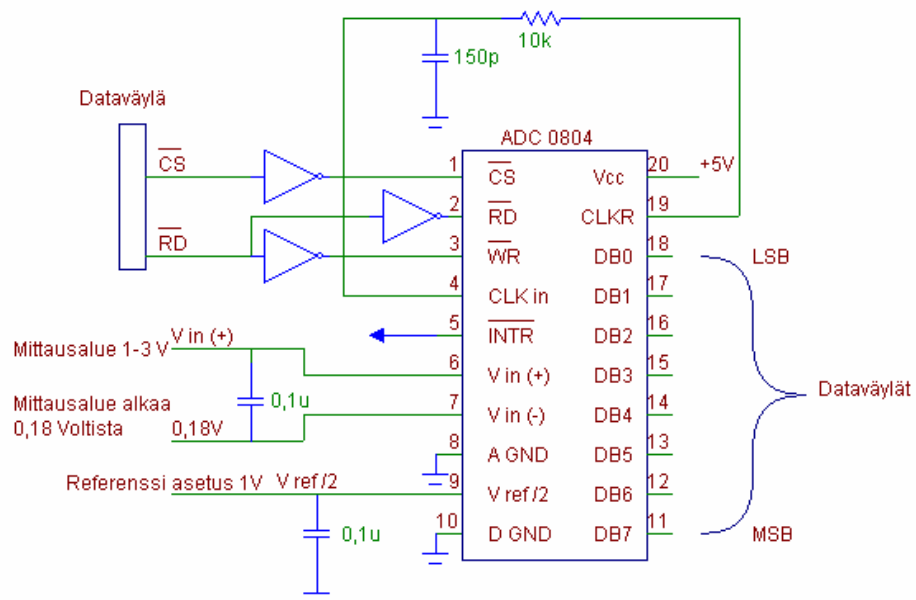
Kuva 9. Instrumentointivahvistin

3.3 Regulointipiiri

Regulointipiiri on olemassa kytkennässä vain siksi, koska A-D -muunnin ei hyväksy mitään muuta signaalia kuin 0:sta 5:een volttiin tapahtuvaa pulssimuotoista jännitteen vaihtelua. Se muuttaa tulevan signaalin 0 ja 5:n voltin vaihteluksi. Todellinen signaalin vaihtelu tapahtui 0 ja 3:n voltin välillä.

3.4 A-D -muunnin

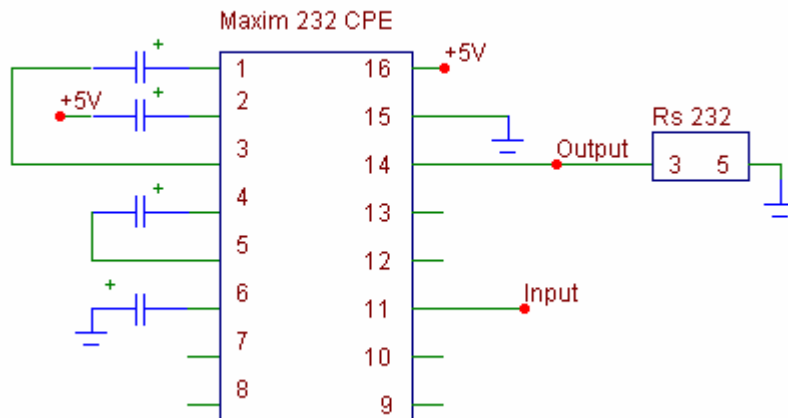
A-D -muunnin muuttaa tulevan signaalin analogisesta digitaalisesti 8 bitin signaaliksi. Muunnettava signaali oli 1 - 3 voltin välillä olevaa kellopulssia. A-D -muunnin jakaa mittausalueen (1 - 3 voltia) 128 osaan. Mittausalueen 128 osaa A-D -muunnin esittää heksalukuina välillä 0 - 80. Kuvassa 10 on esitetty A-D -muuntimen kytkentä.



Kuva 10. A-D -muunnin

3.5 RS 232 -sarjaporttikiytkentä

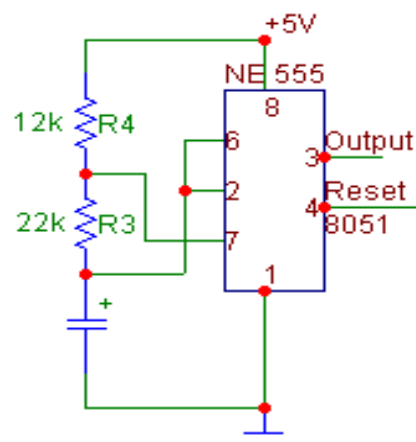
Jotta tietokone ymmärtäisi prosessorikortilta tulevan tiedon, tarvitaan sarjaportille kytkenä. Sarjaporttikiytkennän ainoa käyttötarkoitus oli mahdollistaa datan siirto portin kautta tietokoneelle. Kuvassa 11 on esitetty Rs 232 sarjaporttikiytkentä.



Kuva 11. Sarjaporttikiytkentä

3.6 NE555-ajastinpiiri

Ultraäänen luomiseen käytettiin luotettavaa NE555-ajastinpiiriä. NE555 muodostaa 40 kHz signaalia lähettimelle. Kuvassa 12 on ajastinpiirin kytkenä.



Kuva 12. NE555-ajastinpiirin kytkenä

4 KÄYTTÖOHJELMAN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Tarkoituksena ohjelman suunnittelemisessa oli tehdä C-kielinen ohjelma, joka laskee tuulen nopeuden ja suunnan. Ultraäänen nopeuden vaihteluista saadaan laskemalla nopeus ja suunta. Lisäksi ohjelma syöttää tulokset sarjaliikenneportin kautta päätteelle.

4.1 Suunnittelu

Suunnittelussa otettiin huomioon laitteiston rajoitukset, jotka vaikuttivat ohjelmalliseen toimintaan. Esimerkiksi 8051-muistin koko on rajoittunut.

Alussa ohjelma alustaa laitteen. Kun prosessorikortille tulee virtaa, ohjelma käynnistyy ja muodostaa 40 kHz kanttiaaltoa. Prosessorikortin nastasta P1.7 tulee tilaa 1 ja 0. Ohjelma jatkaa pulssien tekemistä niin kauan, kuin ensimmäinen keskeytys tapahtuu. Keskeytyksen tapahtuessa lasketaan aika, joka äänellä on mennyt sensorien välillä. Keskeytyksen jälkeen ohjelma jatkaa pulssien tekemistä normaalisti. Toisen keskeytyksen tullessa lasketaan aika, joka meni toisen sensoriparin välillä.

Kun ohjelma on laskenut molemmat ajat, ne yhdistetään, ja lasketaan yhdistetty suunta ja nopeus. Ohjelma muuttaa lasketut tulokset merkkijonoiksi, jotka siirretään sarjaportille.

4.2 Toteutus

Toteutus jäi kesken, mutta osa ohjelmasta saatiin tehtyä. Valmiiksi saadut osat liittyivät laitteen eri osien testaukseen emulaattorilla. Ohjelman vuokaavio on esitetty liitteessä C, ja ohjelman valmiiksi saadut osat ovat liitteessä D.

5 TESTAUS

Työhön kuului useita eri osa-alueita, joiden testaukset täytyi suorittaa erikseen. Tässä on eritelty niistä tärkeimmät.

5.1 Kaistanpäästösuodin

Kaistanpäästösuodin oli työn ensimmäinen osa. Suotimen testaus tapahtui siten, että signaaligeneraattorista ajettiin aluksi 30 kHz signaalia ja siirryttiin asteittain hitaasti 50 kHz:iin. Signaalitason lähestyessä 40 kHz:ä suodin alkoi päästää signaalia läpi. Vastaavasti signaalin loitontuessa 40 kHz:stä suodin alkoi estää signaalia pääsemästä läpi. Signaalin huippuarvoksi tuli 40,6 kHz. Tällöin suodin oli optimisuorituksessa.

5.2 RS 232

RS 232 kytkentä testattiin lähettämällä merkkejä sarjaportin kautta tietokoneelle. Baudinopeus oli 1200, ohjelmalliseksi arvoksi laskettiin 230. Merkkien lähettäminen onnistui portin kautta. Kytkeä toimi oikein.

5.3 A-D -muunnin

A-D -muuntimen toimintaa testattiin syöttämällä emulaattorilta heksalukuja muuntimen muistipaikkoihin. Toinen testaustapa oli muuttaa A-D -muuntimelle tulevaa jännitettä säätövastusta käyttäen. Säätämällä sisääntulojännitettä saatiin muuntimen arvot vaihtelevaan minimin ja maksimin välillä (00 ja FF).

5.4 NE555

NE555 testattiin johtamalla sen tekemää signaalia lähettimelle. Vastaanottimesta saatiin mitattua halutunlaista signaalia. Kuitenkin keskeytykset saatiin suoritettua vain manuaalisesti. Ohjelmallista keskeytystä ei saatu toimimaan.

6 KÄYTÄNNÖN ONGELMAT SUUNNITTELUSSA

Suunnittelun aikana ilmeni useita ongelmia. Näistä useimmat liittyivät piirilevyn suunnitteluun ja ohjelman sovittamisessa laitteeseen. Osa ongelmista on perusteltavissa työn keston venymisellä. Aihe oli itsessään hankala, koska ohjelmointitaito ja osa elektroniikan tietämyksestä oli unohtunut.

Suunnittelussa lasketut komponenttiarvot poikkesivat usein todellisista, ja käytännössä oikeat arvot saatiin testaamalla. Myös yleisesti kortissa olevat häiriöt aiheuttivat kytkentöjen manuaalisen toiminnan testauksen ja usein suurehkoja muutoksia.

Työn osa-alueet oli mahdollista toteuttaa usealla eri tavalla, jolloin tasavertaisista valinnoista jouduttiin tilanteen mukaan valitsemaan parempi. Usein valinta ei ollut helppo, koska huomioon piti ottaa usean muuttujan yhteisvaikutus. Yksi vaikeimmista päätöksistä oli valita miten tehdä 40 kHz:n signaalia. Signaalin pystyi muodostamaan kahdella eri tavalla, kytkennällisesti tai ohjelmakoodin avulla. Molemmat saatiin toimimaan, joista lopulta kytkennällinen vaihtoehto valittiin.

6.1 Ongelmat fyysisen laitteen kanssa

Rakentamisvaiheessa suunnitellut kytkennät eivät toimineet useinkaan oikein. Häiriöitä syntyi esimerkiksi itse piirikortissa ja ulkoisista häiriölähteistä. Kortin maataso päästi signaalia läpi eri kytkennän osista toisiin osiin, mikä aiheutti mm. A-D -muuntimen kanssa suuria ongelmia.

Proessorikortin pieni koko aiheutti komponenttien sijoittelussa ongelmia. Kortilla ei ollut tilaa kaikille tarvittaville kytkennöille, vaan tilaa täytyi tehdä lisää. Kortilla oli tämän vuoksi suuri määrä kytkentöjä pienellä alueella. Useissa kohdissa oli päällekkäin lukuisia johtoja, jolloin ongelman sattuessakin vian löytäminen oli usein hankalaa.

6.2 Ongelmat ohjelmakoodin ja emulaattorin kanssa

Suurin ongelma oli puutteet C-kielen taidoissa, jotka olivat päässeet heikkenemään. Yksi syy lopputyön aiheen valintaan oli ohjelmointitaidon parantaminen. Ongelmat ohjelman kanssa olivat pääasiassa toimivien lauserakenteiden luominen.

Emulaattorin kanssa oli paljon turhaa tekemistä. Esimerkiksi ohjelma-asetukset muuttuivat "itsestään". Emulaattorin vikailmoitukset eivät olleet aina johdonmukaisia, ja joskus saman ohjelman ajaminen toisella koneella tuotti aivan eri lopputuloksen.

7 YHTEENVETO

Työssä suunniteltiin ja rakennettiin tuulimittari, joka mittasi tuulen nopeuden ja suunnan 10 asteen tarkkuudella. Työ suunniteltiin Kajaanin ammattikorkeakoululle, mutta työ on annettu kaupallisia mahdollisuuksia silmällä pitäen. Laite rakennettiin Kajaanin ammattikorkeakoulun Intel 8051 - prosessori-kortille. Testauksessa laite testattiin osina ja sen jälkeen toiminnallisina lohkoina, aina niin pitkälle kuin laite toimi.

Laitteen rakentaminen ei ollut mitenkään pieni projekti. Laite rakennettiin prosessorikortille, alussa juottamalla normaalisti, ja lopussa juottamalla hyppy- ja räppi-lankoja. Syy tähän oli se että yksinkertainen laite paisui monimutkaiseksi projektiksi, joka vei kaiken mahdollisen tilan.

Lopputulokseksi tuli laite, jonka kytkentä toimi erillisinä osina. Kokonaisu-toinnassa oli häiriöitä, jotka tulivat esiin kun laitetta testattiin emulaattorilla. Emulaattorilla testatessa tuli ilmi että A-D -muunnin ja ajastinpiiri eivät toimineet kunnolla, manuaalisesti testattuna molemmat kuitenkin toimivat kuten piti. Ohjelman kirjoitus jäi kesken koska aikataulu oli tiukka. Tämän vuoksi lopullista testausta ei voitu suorittaa, koska se vaatisi täysin valmiin ja toimivan laitteen. Työlle asetetut vaatimukset eivät täytyneet.

Terveydelliset syyt häittasivat keskittymistä, työhön paneutumista ja kirjoittamisvaihetta. Lopputulokseen voi olla tilanteeseen nähden tyytyväinen.

LÄHDELUETTELO

- 1 Vaisalan virallinen kotisivu. Luettu 15.4.2005.
[WWW-dokumentti]
<http://www.vaisala.fi/page.asp?Section=46158>
- 2 Suomen fyysikkoseuran kouluprojektin sivu. Luettu 18.9.2005
[WWW-dokumentti]
<http://solis.wwnet.fi/koulutus/tuulivoimavesipumppu/tekstit.html>
- 3 Ilmatieteen laitoksen virallinen kotisivu. Luettu 19.9.2005
[WWW-dokumentti]
<http://www.fmi.fi>
- 4 Yle24 kotisivut, Terhi Nikkanen, luettu 18.9.2005
[WWW-dokumentti]
<http://www.yle.fi/saa/artikkelit/id12140.html>

LIITTEET

LIITE A

Mikroprosessorikortin kytkentä

LIITE B

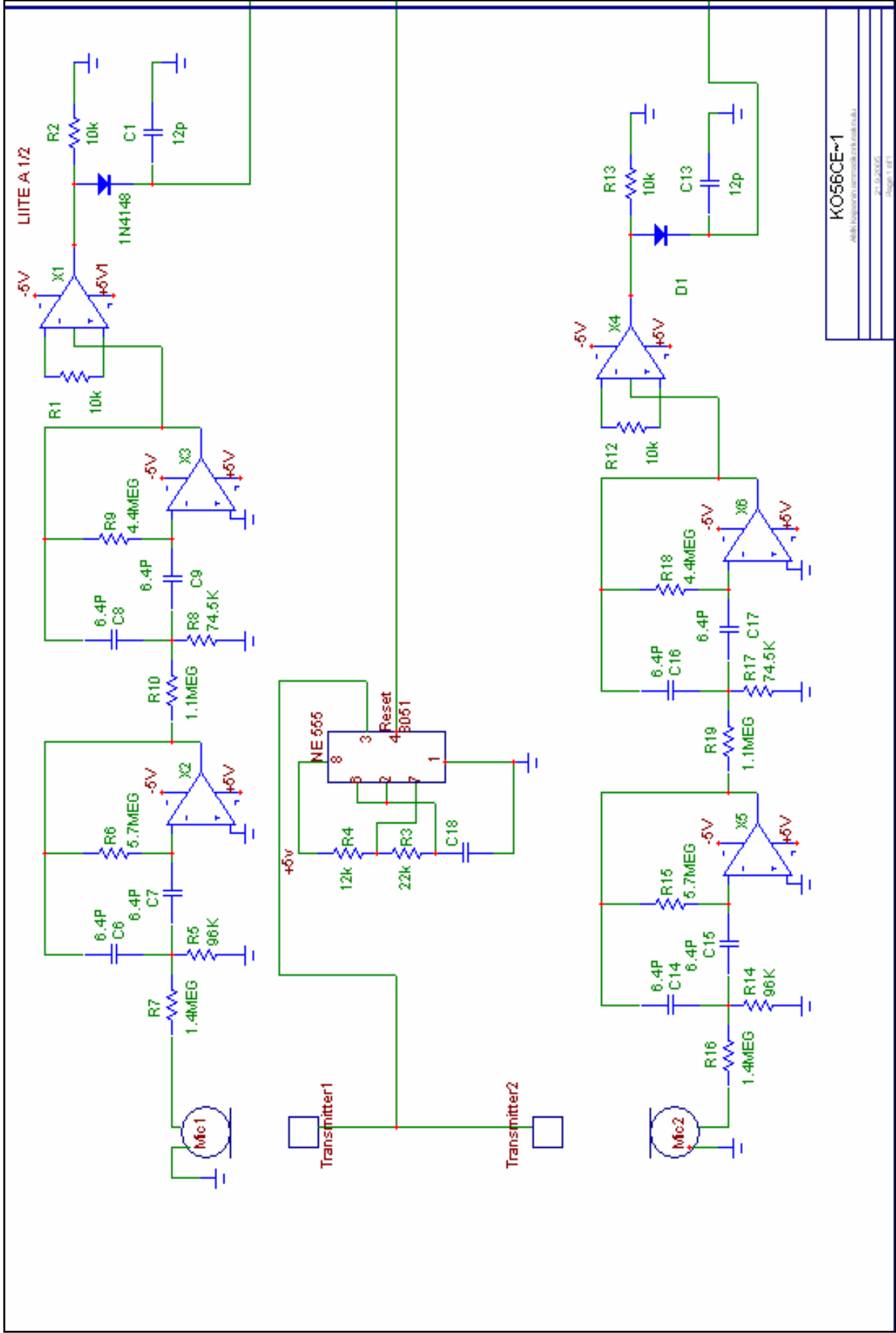
Mikroprosessorikortin kuvat

LIITE C

Ohjelmanvuokaavio

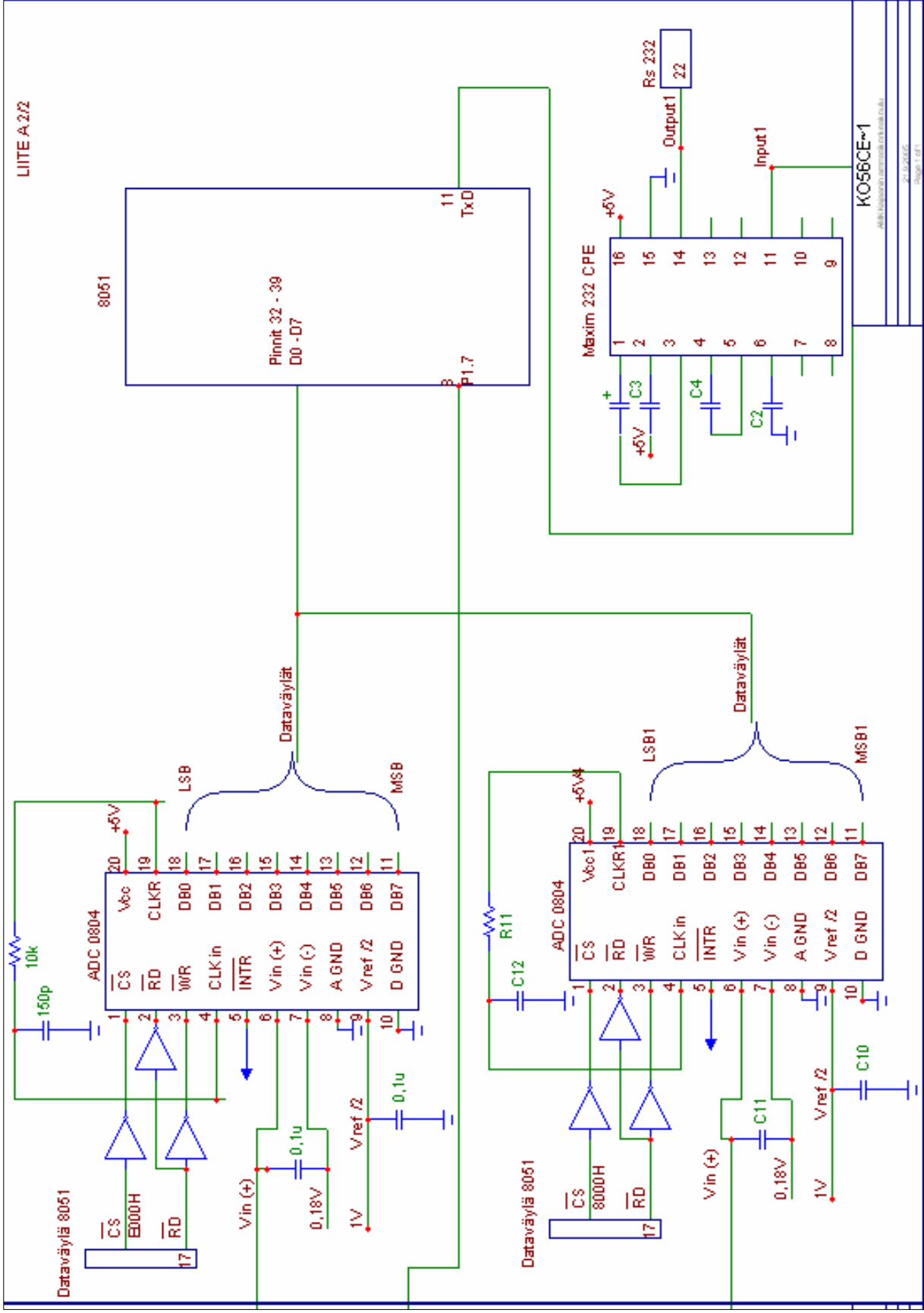
LIITE D

Ohjelma

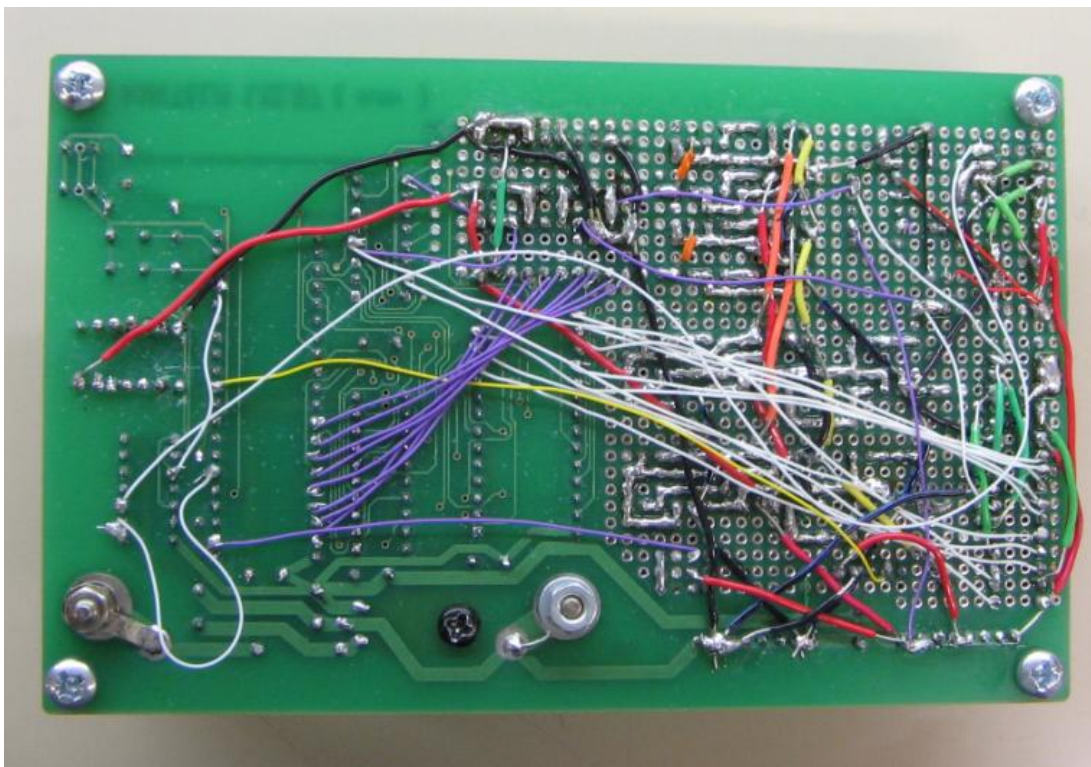


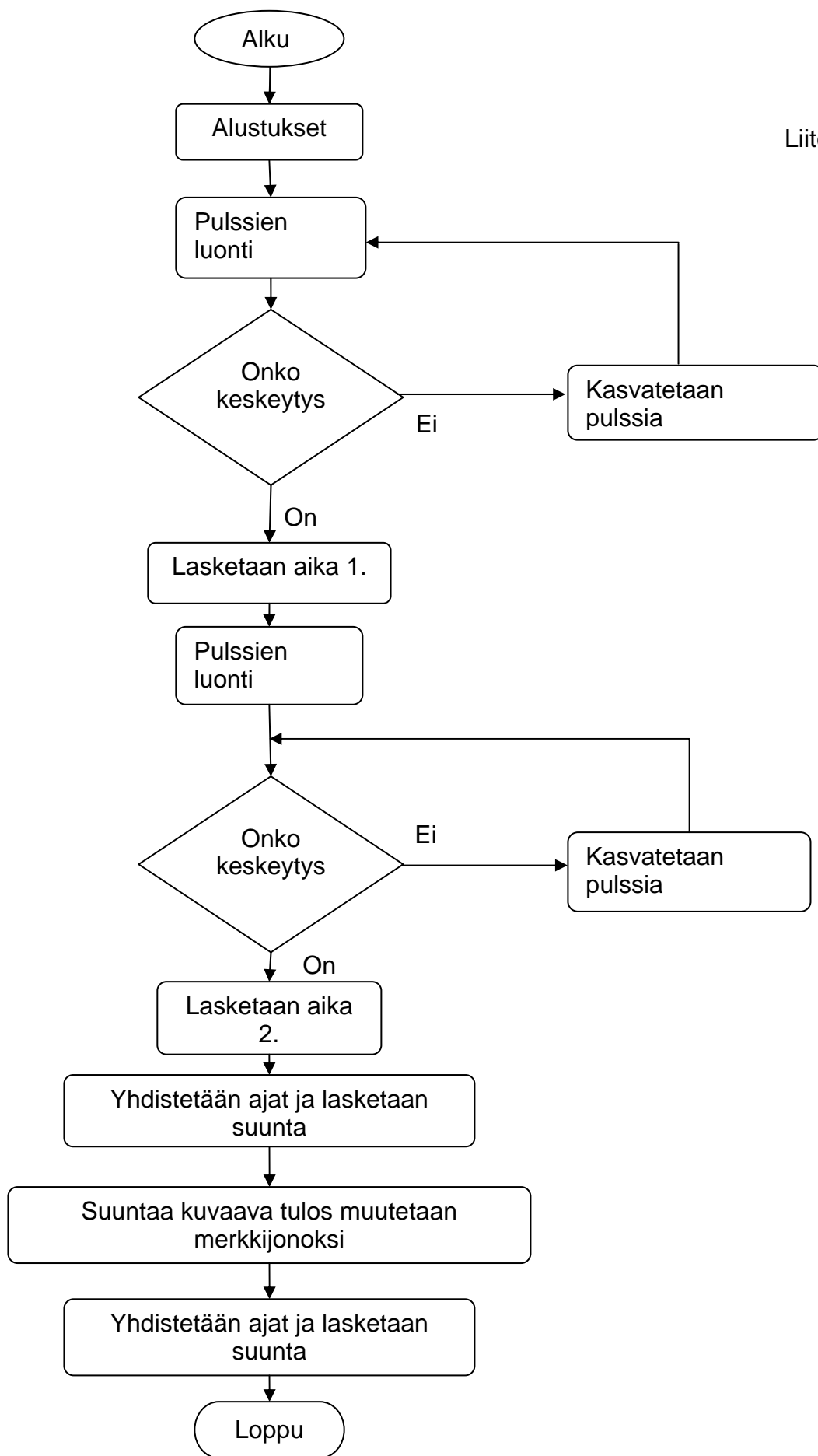
KO5BCE~1

AKB (akb@postbox.su.se)
2013-03-07
08:50:11 CPT



LIITE B





```
#include <stdio.h>
#include <io51.h>
#include <string.h>

/* määritellään ad-muunnin osoitteessa 8000 */
#define MUUNNIN (*(char *) 0x018000)
/* muunnin 2, osoite e000 */
#define MUUNNIN2 (*(char *) 0x01E000)
/* määritellään muuttuja, osoite C000) */
#define MUUTTUJA (*(char *) 0x01C000)
#define DATA (*(char *) 0x01C002)

void tulosta(void);
/* määritellään tulostuksen merkkijonon pituus */
char tulostus[12] ;
unsigned int luku=0;
int kierros=0;
/* esitellään muuttujat */
int j = 0;
int k = 0;
int m = 0;
int arvo;

/*aliohjelmat */
void alustus(void);
void viive(void);
void sarjaportinalustus(void);
void laheta(void);

char merkit='x'; /* muuttuja lähetettävälle merkille*/

main()
{
    IE=0x81; /* keskeytyksen osoite */
    TCON=0x01; /* keskeytyksen osoite */
    TMOD=0x01; /* keskeytyksen osoite */

    ITO=1; /* INTO asetetaan laskeva reuna aktiiviseksi */
    EX1=1; /* ulkoinen keskeytys sallittu */
    MUUNNIN=0;
    MUUNNIN2=0; /* ad muuntimen kaynnistys */

    sarjaportinalustus(); /*alustetaan sarjaportti*/
    alustus();

    led näyttössä on 0 merkkinä-ettei lähetetä */
    MUUTTUJA = 0x30; /* viive();
    for(;;)
    {
    P1.0 = 0; /* 555 resetti asennossa 0 */
```

```

/* Ledin resettikytkin off asennossa, eli maa tulee ledille
=> ledi palaa*/
P1.1 = 0;

/*viive*/
for (j=0; j<5; j++)
for(m=0; m<30000; m++);

P1.0 = 0x1fff; /* 555 resetti asennossa 1 */

/* Ledin resettikytkin on asennossa maa => ledi sammuu */
P1.1 = 1;

for (j=0; j<5; j++)
for(m=0; m<3000; m++);

/* Jos mitään ei anneta, laite lähettää merkkiä X*/
if (merkit!='X') laheta() ;
for(k=0; k<30000; k++);

tulosta();
arvo = MUUNNIN2;

for(k=0; k<30000; k++);

}
}
void sarjaportinalustus(void) /*Alustetaan sarjaportti*/
{

EA=0; /* estetään keskeytykset */
PCON=0; /* TEHOSYÖTÖN OHJAUS SMOD=0 */
TMOD=0x20; /* timer 1:n toimintamuodon valinta */
/* GATE=0 ; softaohjaus, systeemikellon tahdissa */
/* M1=1 M0=0; 8 BITTINEN, AUTOMAATTILATAUS */
SM0=1; /*VALITAAN DATAN MUODOKSI */
SM1=1; /* START + 9 BITTIA + STOP */
REN=1; /* VASTAANOTON SALLINTA */
TH1=230; /* baudinopeuden valinta timerin yläosaan luku 1200*/
TR1=1; /* timer 1 kayntiin */
EA=1; /* sallitaan keskeytykset */
}

/* ulkoinen keskeytys sallitaan, nolla aktiivinen */
interrupt void EX1_int (void) {
EA = 0; /*kielletään keskeytykset*/

```

```

merkit=0x31;
EA = 1;
/*keskeytys=1; */
TR0=0;
for (j=0; j<5; j++)
for(m=0; m<300; m++);
}

void laheta(void)
{
SBUF=merkit; /* lahetettava merkki sarjaportin puskuriin */
while(!TI) /* odotetaan lähetyksen keskeytystä */
TI=0;
merkit=0x30;
viive();
}

void viive(void)
{
int j;
for (j=0 ; j<2350; j++);
}

```