

Matti Koramo

Ultraäänietäisyysmittari

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Tietotekniikan koulutusohjelma
Kevät 2009



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	Koulutusohjelma Tietotekniikan koulutusohjelma
Tekijä(t) Matti Koramo	
Työn nimi Ultraäänietäisyysmittari	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot	Ohjaaja(t) Jukka Heino
	Toimeksiantaja Jukka Heino
Aika 11.2007-27.04.2009	Sivumäärä ja liitteet 17+9
<p>Tiivistelmä</p> <p>Ultraäänietäisyysmittari tehtiin Kajaanin ammattikorkeakoulun tietoliikenteen yliopettaja Jukka Heinolle. Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa ultraäänellä toimiva etäisyysmittari, jolla voidaan korvata rullamitta. Ultraäänietäisyysmittari suunniteltiin ja rakennettiin Kajaanin ammattikorkeakoululla, tietotekniikan laboratoriossa. Suunnittelussa käytettiin apuna kirjallisuutta ja rakennusvaihe toteutettiin koekytkentäalustalle ennen lopullisen laitteen rakentamista. Rakennusvaiheessa käytettiin myös apuna IAR- ja PADS-ohjelmistoja.</p> <p>Ultraäänietäisyysmittari koostuu lähettimestä, vastaanottimesta, 8051-mikroprosessorista ja lämpötilamittauksesta, jolla kompensoidaan lämpötilan vaikutus äänennopeuteen. Etäisyysmittaus suoritetaan siten, että 8051:llä luodaan 40 kHz:n pulssi, joka lähetetään lähettimellä ja pulssin kaiku vastaanotetaan vastaanottimella. Pulssin lähteyksen ja kaiun vastaanoton välinen aika mitataan 8051:llä, ja tämän ajan perusteella lasketaan etäisyys mitattavaan kohteeseen. Etäisyys tulostetaan LCD-näytölle.</p> <p>Laitteen tavoitteeksi asetettiin 3 m:n mittausetäisyys ja 1 mm:n tarkkuus. Laite saatiin toimimaan, mutta asetetut tavoitteet eivät täytyneet. Laite kykeni mittaamaan noin 1,5 m:n etäisyydeltä ja sen mittaustarkkuus jäi 5 mm:n.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Ultraääni, etäisyysmittaus
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Information Technology
Author(s) Matti Koramo	
Title An Ultrasonic Distance Meter	
Optional Professional Studies	Instructor(s) Jukka Heino
	Commissioned by Jukka Heino
Date 28 April 2009	Total Number of Pages and Appendices 17+9
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this Bachelor's thesis was to design and produce a distance measurement device that works on ultrasound. The device is supposed to replace a common tape measure. The development of the ultrasonic distance meter was commissioned by Mr Jukka Heino, Lecturer in Data Communications at the Kajaani University of Applied Sciences.</p> <p>The device was built in the Information Technology laboratory. Many literary sources were consulted during the design process. The final build was made on an actual circuit board, designed with the PADS software. Also the IAR Embedded Workbench software was used during the building process to compile the program for the device.</p> <p>The device consists of a transmitter, receiver, 8051 microprocessor and temperature measurer, which is used to compensate for the temperature effect on the speed of sound. Distance measurement is carried out by creating a pulse on 8051 and that pulse is transmitted through the transmitter. The receiver then receives the echo of the pulse from the target of the measurement. The 8051 microprocessor measures the time between the transmitted pulse and the received echo and calculates the distance from the measured time. The distance is printed on an LCD screen.</p> <p>At the beginning of the project the target parameters were set to three meters of measuring distance and one millimetre of measuring accuracy. The targets were not met but the device worked otherwise.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Ultrasound, distance measurement
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on tehty Kajaanin ammattikorkeakoululle, tietoliikenteen lehtori Jukka Heinolle alkukevään 2008 ja kevään 2009 välisenä aikana. Työn suunnittelu ja toteutus on tehty Kajaanin ammattikorkeakoulun tietotekniikan laboratoriossa. Työ oli mielenkiintoinen ja haastava, etenkin ohjelmoinnin osalta.

Haluan kiittää Jukka Heinoa, Ismo Talusta ja Harri Honkasta asiantuntevista neuvoista ja vinkeistä.

Kajaanissa

Matti Koramo

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 ETÄISYYDEN MITTAUS	2
2.1 Yleistä	2
2.2 Laser	2
2.3 Radioaalto	3
2.4 Ultraääni	4
3 ULTRAÄÄNI	5
4 ULTRAÄÄNIETÄISYYSMITTARI	11
4.1 Yleistä	11
4.2 Suunnittelu	12
4.3 Rakentaminen	13
4.4 Ohjelmointi	14
5 TESTAUS	15
6 YHTEENVETO	16
LÄHTEET	17
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa ultraäänietäisyysmittari, joka kykenisi mittaamaan 30 cm:n – 3 m:n matkalta 1 mm:n tarkkuudella. Laitteella korvataan esimerkiksi tavallinen rullamitta, jolla mittaaminen yksin on työlästä ja hidasta. Laitteella mahdollistetaan nopea ja helppo mittaus, osoita ja mittaa -periaatteella. Esimerkiksi jos halutaan rullamittalla mitata huoneen mitat, joudutaan ensin kävelemään yhteen nurkkaan kiinnittämään mittanauhan ja kävelemään seinän viertä toiseen nurkkaan. Ja kun halutaan mitata toinen seinä, joudutaan ensin käymään irrottamassa mittanauha ensimmäisestä nurkasta ja toistamaan aiemmin esitetty mittaustapa toiselle seinälle. Työn mittarilla tämä suoritettaisiin seisomalla yhdessä nurkassa ja osoittamalla ensin yhteen nurkkaan ja mittaamaan ja sitten kääntymään kohti toista nurkkaa ja toistamaan mittauksen. Työn tilaaja halusi paremmalla tarkkuudella toimivan mittarin kuin olemassa olevat kaupalliset mittarit, joiden tarkkuus on n. 1 cm.

Työn suunnittelusta vastasi Matti Koramo. Työn kustansi Kajaanin ammattikorkeakoulu. Työn valvojana ja tilaajana toimi tietoliikenteen lehtori Jukka Heino.

2 ETÄISYYDEN MITTAUS

2.1 Yleistä

Etäisyyttä on mitattu kautta aikojen. Ensin on käytetty ihmisen ruumiinosien mittoja apuna, esimerkiksi vaaksa, kyynärä, jalka jne. Nämä mitat eivät olleet tarkkoja, koska jokainen ihminen on erikokoinen. Myöhemmin standardisoitiin mitat metri (Eurooppa) ja jalka (USA, UK). Metri on SI-järjestelmän perusyksikkö, ja se määritellään nykyään seuraavasti: metri on matka, jonka valo kulkee tyhjiössä $1/299\,792\,458$ sekunnissa [1]. Jalka on 12 tuumaa, ja se ei ole SI-järjestelmän suure. Näitä mittoja varten on kehitetty mekaanisia mittoja. Pariisin Mittojen ja Painojen museossa säilytetään erästä metrin standardimittaa, platinan ja iridiumin seoksesta tehtyä metallista palkkia. Nykyisin yksinkertaisin etäisyyden mittaustapa on rullamitta tai mittanauha. Muitakin tapoja on kehitetty, esimerkiksi laser, radioaallot ja ultraääni.

Ajoneuvoissakin on omat etäisyydenmittarinsa, jotka ovat aiemmin toimineet mekaanisesti. Auton vaihteistoon kytketty vaijeri pyörittä mittarin koneistoa, jossa muutetaan ”tieto” matkaksi erikokoisten hammasrattaitten välityksellä. Nykyään tämä on korvattu optisella tai magneettisella sensorilla, jonka pulsseista matkamittareihin lisätty prosessori laskee kuljetun etäisyyden. [2.]

2.2 Laser

Lasermittaus voidaan suorittaa kolmella tavalla: pulssimittauksella, vaihesiirtometodilla tai interferometrillä. Pulssimittauksessa lähetetään lyhyt laserpulssi prismaan ja vastaanotetaan takaisin heijastuva pulssi ja mitataan lähetysten ja vastaanoton välinen viive. Koska valonnopeus on vakio, noin $300\,000$ km/s, saadun viiveen avulla voidaan laskea valon kulkema matka. Tätä keinoa varten tarvitaan tehokasta elektroniikkaa, koska viiveiden pituudet ovat hyvin lyhyitä valonnopeuden takia.

Vaihesiirtometodissa lähetetään jatkuvaa sinimuotoista lasersignaalia prismaan, josta heijastunut signaali otetaan vastaan. Vastaanotetun signaalin vaihetta verrataan lähetettyyn signaaliin ja vaiheiden erosta saadaan tietoon aika, joka laserilla kului prismaan ja takaisin. Saadusta ajasta lopulta lasketaan tiedetyn valonnopeuden avulla etäisyys prismaan.

Interferometri on optinen laite, joka hyödyntää häiriövaikutuksia, kokoavaa tai hajottavaa häiriötä. Kokoavassa kaksi samanvaiheista signaalia yhdistyy yhdeksi voimakkaammaksi signaaliksi, ja hajottavassa kaksi erivaiheista signaalia yhdistyy muodostaen heikentyneen signaalin tai jopa hävittää molemmat signaalit täysin, jos nämä ovat yhtä suuret mutta vastakkaisvaiheiset [3]. Tyypillisesti laitteeseen syötetään lasersäde, joka jaetaan kahdeksi erilliseksi säteeksi osittain heijastavalla peilillä. Mahdollisesti säteet altistetaan jollekin ulkoiselle vaikutukselle, jonka jälkeen säteet liitetään yhteen uudella osittain heijastavalla peilillä. Interferometrillä on monta eri tyyppiä: Mach-Zehnder-, Michelson-, Fabry-Pérot- ja Sagnac-interferometri. [4.]

2.3 Radioaalto

Radioaalloilla etäisyyden mittaus kuuluu tutkasovelluksiin. Radioaaltoon perustuvaa etäisyyden mittausta suoritetaan kahdella tavalla, pulsseilla ja taajuusmodulaatiolla. Pulseilla mitattaessa lähetään radiopulssi ja vastaanotetaan sen heijastus mitattavasta kohteesta ja mitataan näiden välinen viive, josta sitten lasketaan etäisyys kohteeseen. Koska radioaallot kulkevat lähes valonnopeutta, tarvitaan korkeatehoista elektroniikkaa suorittamaan lähetetyn ja vastaanotetun signaalin välisen viiveen mittaus.

Useimmissa tapauksissa heijastusta ei voida vastaanottaa lähetyksen ollessa käynnissä, joten käytetään haaroitinta, jolla tutka vaihtaa lähetyksen ja vastaanoton välillä tietyllä taajuudella. Tätä taajuutta kasvattamalla (pulsseja lyhentämällä) kyetään muuttamaan tutkan minimihavaintoetäisyyttä. Sama pätee käänteisesti maksimietäisyydelle.

Toinen tapa on lähettää jatkuvaa signaalia, jonka taajuutta muutetaan tasaisesti ja ennustettavasti. Tyypillisesti sitä muutetaan vuorotellen ylös- ja alaspäin sinimuotoisella taikka sahalaitaisella signaalilla. Signaali lähetetään yhdestä antennista ja vastaanotetaan toisella, ja signaaleja voidaan verrata koko ajan yksinkertaisella sykkivätaajuisella modulaattorilla, joka luo audiotajuisen signaalin palaavasta ja lähtevästä signaalista.

Koska lähtevän signaalin taajuus muuttuu, niin se on eri kuin takaisin heijastuneen signaalin taajuus. Tästä taajuuksien ero on suoraan verrannollinen signaalin kulkemaan matkaan ja tämä voidaan esittää laitteistolla. Tämän tavan etuna on, ettei siihen tarvita niin tehokasta elektroniikkaa kuin pulsseilla mitattaessa.

2.4 Ultraääni

Ultraäänellä kyetään mittaamaan pulsseilla, taajuusmodulaatiolla ja vaihe-eroa hyödyntäen. Pulssilla mitattaessa lähetetään lyhyt ultraäänipulssi, joka sisältää n. 5 jaksoa, vastaanotetaan sen signaalin heijastus kohteesta ja mitataan lähetyksen ja vastaanoton välinen viive, josta sitten lasketaan etäisyys kohteeseen käyttäen apuna nopeuden kaavaa (kaava 2, s. 11).

Taajuusmodulaatiossa lähetetään jatkuvaa pulssia, jonka taajuutta muutetaan tasaisesti ja ennustettavasti. Kun sitten vastaanotetaan heijastunut signaali kohteesta, vastaanotetun ja lähetetyn signaalin taajuuserosta lasketaan etäisyys kohteeseen.

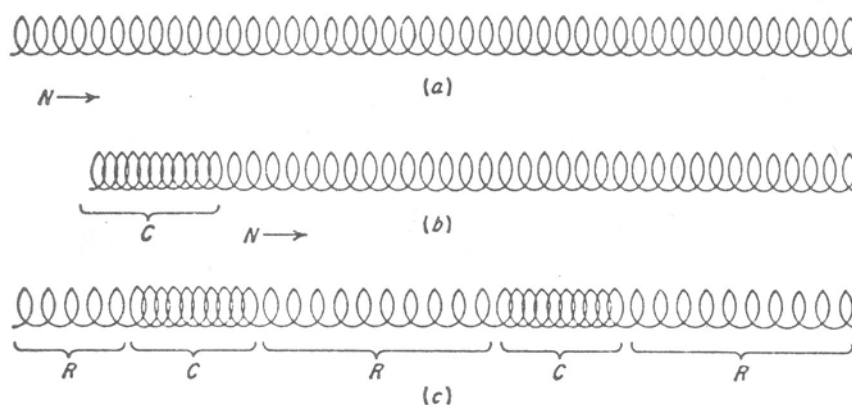
Vaihe-eromittauksessa lähetetään myös jatkuvaa pulssia. Pulssin heijastuessa kohteesta sen vaihe muuttuu. Tätä vaihe-eroa lähetettyyn signaaliin nähden käytetään laskettaessa etäisyyttä kohteeseen.

3 ULTRAÄÄNI

Äänen ominaisuudet

Ääni on aaltoliikettä, joka on kimmoisaa eli elastista. Äänet etenevät väliaineessa tai rakenteissa, joissa on sekä massaa että kimmoisuutta. Siirtyvä energia esiintyy massaan liittyvänä liike-energiana ja kimmoisuuteen liittyvänä potentiaalienergiana. Lisäksi mukana on häviömekanismeja, joilla mekaaninen äänienergia muuttuu toiseen muotoon, tavallisesti lämmöksi.

Kimmoisen aallon etenemistä voidaan tarkkailla esimerkiksi spiraalijousen avulla (kuva 1). Spiraalijousella on sekä massaa että kimmoisuutta. Kun jousen toinen pää puristuu kokoon, niin kokoon puristumaan kohdistuu kimmoenergiaa, joka pyrkii purkautumaan. Tämä purkautuma kohdistuu jousen suuntaisesti, jossa tapahtuu kokoonpuristumista. Liike etenee jousen toiseen päähän, jossa tämän pää kiinnittämistavasta riippuen osa- tai koko liike- ja kimmoenergioiden summa heijastuu ja lähtee etenemään vastakkaiseen suuntaan. Jos tämän jousen pitkittäinen energian siirto olisi häviötöntä, liike kulkisi moneen kertaan edestakaisin äärellisellä jousella. Käytännössä tämä ei ole mahdollista teräksen sisäisten siirros- ja muodonmuutoshäviöiden sekä jousikierukoiden hankaushäviöiden vaimentaessa kuvatuunlaista värähtelyä. Tällainen jousessa tapahtuva aaltoliike on pitkittäistä eli longitudinaalista aaltoa.



Kuva 1. Aaltoliike spiraalijousessa. [5]

Kun veteen heitetään kivi, tämä aiheuttaa aaltoliikkeen, jossa veden pinta nousee ja laskee aaltoliikkeen edetessä jonkin havaintopisteen ohi. Tällainen liike on poikittaista eli transversaalista aaltoliikettä.

Ihmisen kannalta kiinnostavin aaltoliike on kuitenkin ilmassa kulkeva ääniaalto eli ilmaääni. Lähteenä ilmaäänelle toimii usein jokin värähtelevä pinta. Pinnan liikkuaessa läheiset ilmamolekyylit liikkuvat ja synnyttävät pieniä painevaihteluita. Liiketila ja painevaihtelut eivät pysy paikallisina ilmiöinä vaan välittyvät ääniaaltoina ympäristöön.

Jos äänilähde on pienikokoinen, ääni etenee pallomaisesti eri suuntiin, samoin kuin veteen heitetty kivi aiheuttaa renkaana etenevän aallon veden pintaan. Syntyy niin sanottu palloaalto, jonka aallot ovat pallopintoja. Aalto on tietyllä hetkellä lähtenyt ääntä, jonka värähtely on samassa vaiheessa.

Kauempina äänilähteestä aaltojen kaarevuus loivenee ja ne alkavat muistuttaa tasopintaa, jolloin puhutaan tasoaallost. Tasoaalto syntyy myös tilanteessa, jossa äänen synnyttää kovassa ja jäykkäseinäisessä putkessa värähtelevä mäntä. Jos putken läpimitta on ääniaallon pituuden verrattuna pieni, putkeen syntyy etenevä tasoaalto. Jos putki on hyvin pitkä tai sen toinen pää on akustisesti sovitettu, putkeen ei synny vastaantulevaa heijastuvaa aaltoa. Tällaisessa putkessa ääni pystyy etenemään pitkiäkin matkoja vaimentuen vain vähän. Esimerkkinä tällaisista putkista ovat vanhoissa laivoissa käytetyt puheputket.

Kun ilmanpainetta tarkastellaan jossakin kohtaa putken sisällä, siinä havaitaan nopeita vaihteluita. Näitä kulloinkin vallitsevaan staattiseen ilmanpaineeseen nähden tapahtuvia vaihteluita ja staattisen paineen erotusta kutsutaan äänenpaineeksi. Staattinenkin ilmanpaine vaihtelee säätilan mukaan, mutta nämä painevaihtelut ovat hyvin hitaita verrattuna äänen aiheuttamiin painevaihteluihin.

Äänenpaineen suuruus ilmaistaan tavallisesti tehollisarvona, hetkellisarvon sijaan, ja sen yksikkö on pascal. Akustiikassa äänenpaine on hyvin tärkeä suure. Juuri äänenpaine aiheuttaa kuuloaistimuksen panemalla korvan tärykalvon värähtelemään. Äänenpaine on hyvin pieni verrattuna staattiseen ilmanpaineeseen. Esimerkiksi puheäänen paine on vain noin miljoonasosa staattisesta ilmanpaineesta.

Äänen nopeus on riippuvainen väliaineesta. Esimerkiksi äänen nopeus ilmassa 0 °C on noin 331 m/s. Äänen nopeus on myös riippuvainen ilman lämpötilasta

$$c = c_0 \sqrt{\frac{T}{273K}} \quad (1)$$

, jossa c_0 = etenemisnopeus 0 °C:ssa ja T lämpötila kelvineinä.

Likimääräisesti lämpötilan vaikutus on $\pm 0,6$ m/s / $^{\circ}\text{C}$. Tämä on riittävän tarkka tavallisissa lämpötiloissa, huoneenlämmössä äänen nopeus on noin 344 m/s.

Äänen edetessä ilmassa se vaimentuu monestakin syystä. Näitä ovat esimerkiksi leviämismuunnos, väliaineen absorptiovaimennus, ilmanvirtaukset ja esteet. Leviämismuunnoksessa vaimeneminen tapahtuu energian levitessä laajemmalle alueelle äänen edetessä, jolloin energian tiheys luonnollisesti laskee.

Väliaineen absorptiovaimennus voidaan jakaa viskositeettivaimennukseen, lämmönsiirtymisestä johtuvaan vaimennukseen ja niin sanottuun molekyyli-vaimennukseen. Viskositeettivaimennus johtuu aineen sisäisestä kitkasta. Ääniaallon aiheuttamiin pieniin painevaihteluihin liittyy myös pieniä lämmön vaihteluita. Lämmönjohtumisen vuoksi nämä pääsevät hieman tasoittumaan, mikä vaimentaa äänialtoa. Molekyyli-tasolla tapahtuvat energiasiirtymät aiheuttavat molekyyli-vaimennuksen. Ilmassa vaimennus johtuu pääasiassa happi- ja vesimolekyylien vuorovaikutuksesta ja riippuu suuresti ilman kosteudesta.

Viskositeetti- ja lämmönsiirtymävaimennukset ovat ilmassa suunnilleen yhtä suuria ja vaikutukseltaan melko vähäisiä. Äänitaajuusalueen tärkein vaimennustekijä on molekyyli-vaimennus.

Taulukosta 1 näkee absorptiovaimennuksen desibeleinä 1 kilometrin matkalla, ilman lämpötilan ollessa 20°C . Taulukosta voidaan todeta vaimennuksen kasvavan taajuuden kasvaessa, ja kosteuden lisääntyessä vaimennus kasvaa aluksi voimakkaasti saavuttaen maksimiarvonsa melko pienellä kosteuden arvolla.

Taulukko 1. Ilman absorptiovaimennus dB 1 km:n matkalla, kun lämpötila on 20°C [5]

Suhteellinen kosteus %	Taajuus Hz				
	500	1000	2000	4000	8000
0	0,03	0,1	0,5	2,1	8,3
30	2,1	5,1	13	41	143
50	1,8	4,2	10	26	83
90	1,4	4,4	8,4	21	54

Lisäksi ääntä vaimentavat ilmanvirtaukset, jotka taivuttavat äänen virtauksen suunnan mukaisesti sekä esteet, kuten kasvillisuus, aidat, maavallit ja rakennukset, joko absorptio tai hajajaiheijastusten ansiosta.

Esteet aiheuttavat ääneen taipumia ja heijastuksia. Taipumaan eli diffraktioon vaikuttaa esteen suuruus ja aallonpituus. Kun etenevän aallon tiellä olevan esteen mitat ovat pienet aallonpituuteen verrattuna, on esteen vaikutus mitätön. Jos taas aallonpituus on samaa kokoluokkaa tai pienempää kuin este, se vaikuttaa aallon etenemiseen suuresti. Esimerkiksi aallon etenemissuunta voi muuttua. Hyvänä esimerkkinä tästä on luentosalissa sijaitseva pylväs, joka ei juuri vaikuta mataliin ääniin niiden pitkien aallonpituuksien vuoksi, kun taas korkeat äänet se voi estää hyvinkin tehokkaasti, aiheuttaen erilaisen spektrin pylvään vastakkaiselle puolelle.

Heijastuksia syntyy, kun ääniaalto osuu kohtaan, jossa väliaineen ominaisuudet muuttuvat. Myös diffraktioilmiö vaikuttaa heijastuksiin. Pinnat, jotka ovat suuria äänen aallonpituuteen nähden, aiheuttavat voimakkaimmat heijastukset. Näissä tapauksissa ilmiöitä voidaan selittää niin sanotun geometrisen akustiikan avulla, joka on yhteneväinen geometrisen optiikan kanssa.

Geometrinen akustiikka havainnollistaa äänen etenemistä äänilähteestä lähtevien äänisäteiden avulla. Äänisäteet ovat kohtisuorassa aaltorintamaa vasten ja osoittavat äänen etenemissuunnan.

Geometrisessa akustiikassa äänilähteet oletetaan likimääräisesti olevan pistemäisiä, jotka säteilevät ääntä eri suuntiin melko tasaisesti. Äänikenttä voidaan tällöin kuvata sädekimppuna, jonka heijastuskuvio jostakin kovasta pinnasta riippuu pinnan geometrisesta muodosta. Yleinen heijastuslaki pätee äänen heijastuksissa, ja lain mukaan säteilyn tulokulma ja heijastuskulma ovat yhtä suuret.

Myös eri materiaalit vaimentavat ääntä absorboimalla. Materiaaliin absorboituvan äänitehon määrä saapuvaan tehoon verrattuna ilmaistaan absorptiokertoimella. Absorptiokerroin riippuu äänen taajuudesta ja sen tulosuunnasta. Teknisten sovellusten kannalta kiinnostavat absorptiokertoimen arvo kohtisuoraan tulevalle äänelle ja keskiarvo tasaisesti joka suunnasta tulevalle äänelle.

Kaikki materiaalit imevät ääntä jonkin verran, mutta jos halutaan saada aikaan voimakkaasti ääntä absorboiva pinta, tulisi käyttää huokoisia aineita ja erilaisia resonaattorirakenteita. Ääntä vaimentavia materiaaleja ovat huopa, huokoinen puuvilla, kudotut vaatteet tai vaahtomuovi. Myös huokoinen betoni vaimentaa ääntä. Taulukossa 2 näkyy absorptiokertoimia eri materiaaleille. [5]

Taulukko 2. Materiaalien absorptiokertoimia oktaavialueille 125 ... 4000 Hz [5]

Aine ja rakenne	Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Tiiliseinä kalkkilaastilla rapattuna	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Rappaamaton betoniseinä	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Linoleumipäällyste suoraan betonin päällä	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
1 cm paksu tekstiilimatto betonin päällä	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37
Veden pinta	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Ikkuna	0,4	0,3	0,2	0,17	0,15	0,1
Puuvillaverhot 0,33 kg/m ² laskostettu puoleen alastaan	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54
Mineraalivilla 40 ... 70 kg/m ³ 25 mm paksuisena	0,03	0,15	0,5	0,8	0,85	0,8
Kuten edellä, mutta 50 mm paksuisena	0,15	0,5	0,8	0,88	0,95	0,95
Kuten edellä, mutta 100 mm paksuisena	0,5	0,78	0,95	0,9	0,88	0,9
6 mm vaneri 50 mm rimoituksella	0,18	0,28	0,12	0,07	0,04	0,04
Kuten edellä, mutta ilmaväli täytetty mineraalivillalla	0,57	0,37	0,13	0,07	0,06	0,03
Yleisöalue salissa	0,52	0,68	0,85	0,97	0,93	0,85
Hyvin pehmustettujen tekstiilipäällysteisten istuinten alue salissa	0,44	0,6	0,77	0,89	0,82	0,7
Kuten edellä, mutta nahkapäällyste	0,4	0,5	0,58	0,62	0,58	0,5

Ultraääni on ihmisen kuulokynnyksen ylittävää ääntä (>20 kHz). Yleisimmin ultraääntä käytetään kuvantamaan sisäisiä rakenteita ja mahdollisia virheitä. Esimerkiksi siltojen rakennustöissä tarkistetaan tukipilarit mahdollisten halkeamien varalta. Myös lääketieteessä käytetään ultraääntä paljon samalla tavalla tutkittaessa sikiön kehitystä vahingoittamatta sitä. Tässä työssä sitä pyritään käyttämään vain etäisyyden mittaukseen.

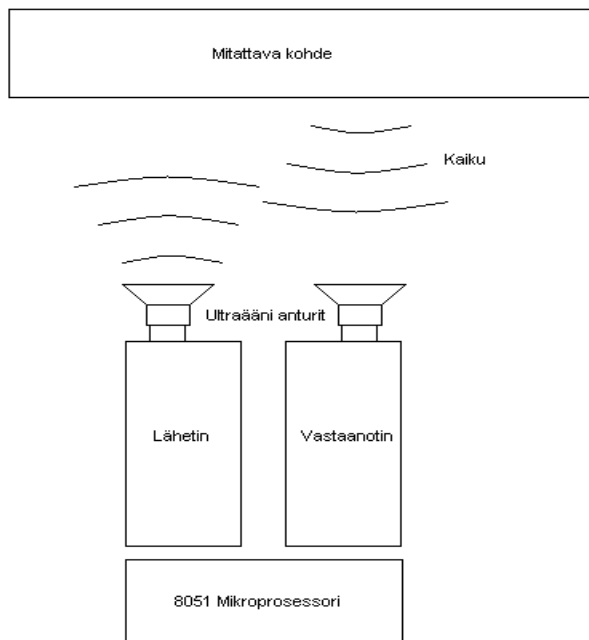
Ultraäänianturien taajuus on yleensä 40 kHz. Niillä voidaan mitata ilmassa 1 cm–15 m:n etäisyydellä. Etäisyys riippuu lähettimen ja vastaanottimen ominaisuuksista, signaalin lähtötehosta ja ympäristöstä. [6]. Ultraäänianturit ovat joko sähköstaattisia tai pietsosähköisiä. Sähköstaattisessa anturissa luodaan korkea värähtelytaajuus värähtelypiirillä, jossa on esimerkiksi 300 V jännite. Pietsosähköisessä vuorostaan kide saadaan värähtelemään matalammalla vaihtojännitteellä. Ultraääniantureiden tunnistusalue on kapea, noin 5–15 astetta. Ne ovat myös

herkkiä häiriöille. Häiriölähteitä ovat esimerkiksi toiset anturit sekä hitsauksessa, metallien hionnassa ja leikkauksessa syntyvät äänet [7, s. 31].

4 ULTRAÄÄNIETÄISYYSMITTARI

4.1 Yleistä

Projektin alussa määriteltiin tavoitteeksi saada aikaan ultraäänietäisyysmittari, jolla voidaan mitata 30 cm–3 m:n etäisyydelle. Lisäksi laite tulisi toimia mikroprosessorin 8051 pohjalta. Näistä lähtökohdista alettiin miettiä, miten laitteen tulisi toimia. Yleisesti etäisyyden mittaus ultraäänellä perustuu ultraäänen tuottamiseen ja kohteesta heijastuneen kaiun viiveen mittaamiseen. Toimintaperiaate havainnollistetaan kuvassa 2. Pienenä huolen aiheena oli, kykenisikö 8051 mittaamaan aikaa kyllin tarkasti.



Kuva 2 Ultraäänietäisyysmittarin toimintaperiaate

8051-mikroprosessori sisältää kaksi laskuria, joilla pienin mitattu aika on $1/(\text{kiteentaajuus}/12)$. Koska mikroprosessorilla käytetään 12 MHz:n kideettä, tämä aika on 1 μs . Toista näistä laskureista käytetään sisäisen viiveiden luontiin, ja toisella mitataan kaiun viivettä. Laskurin pienimmällä ajalla laskettuna lyhyin havaittava etäisyyden muutos on

$$s = v * t \tag{2}$$

, $s = \text{matka}$, $v = \text{nopeus}$ ja $t = \text{aika}$) $340 \text{ m/s} * 1 \mu\text{s} = 0,34 * 10^{-3} \text{ m}$ eli noin millimetrin kolmasosa.

4.2 Suunnittelu

Suunnittelussa lähdettiin liikkeelle lähettimestä ja vastaanottimesta. Lähettimen tulisi olla kyllin voimakas, jotta päästäisiin haluttuun 3 m:n etäisyyteen, ja vastaanottimen tulisi olla kyllin tarkka havaitakseen saapuvan kaiun halutulta etäisyydeltä.

Lähetin

Aluksi lähetin pyrittiin tekemään 40 kHz:n kiteellä tai ajastin 555:llä, mutta koska 40 kHz:n kiteitä ei ollut valmiina koululla ja ajastin 555 ei ollut ennestään tuttu, niin päädyttiin käyttämään ohjelmallista pulssia Ismo Taluksen ystävällisestä neuvosta. Ohjelmallinen pulssi luodaan 8051-mikroprosessorilla, ja se syötetään 2N2219A-transistorille, jolla pyritään muuntamaan 8051:n 0–5 V:n logiikkataso sopimaan yhteen logiikkapiirien 9 V:n tason kanssa.

Logiikkapiirejä on kaksi: CD4011-, NAND-piiri ja CD4009, Hex inverter. Pulssi syötetään ensiksi NAND-piirille, jonka ensimmäisellä portilla luodaan 180° vaihesiirto CD4009 Hex inverterillä luodun puskurin toiselle haaralle. Toinen portti kääntää signaalin takaisin alkupe räiseen vaiheeseen puskurin toiselle haaralle. Vaihesiirrolla pyritään saamaan aikaiseksi korkeampi peak to peak -jännite anturin napojen välille, jotta lähtevä signaali olisi kyllin voimakas ja päästäisiin tavoiteltuun etäisyyteen mittauksessa. Puskurin molemmissa haaroissa on käytetty CD4009 Hex inverterin kolmea porttia, jotta virta olisi riittävä ultraäänianturille.

Vastaanotin

Mitattavasta kohteesta heijastunut kaiku vastaanotetaan toisella ultraäänianturilla ja vastaanotettu signaali syötetään operaatiovahvistimelle LM358. Operaatiovahvistimella, joka on kytketty invertoivaan vahvistinkytkentään, signaalia vahvistetaan noin 55-kertaiseksi. Vastuksen avulla on luotu jännite 2,5 V Tätä jännitettä käytetään virtuaalimaana invertoimattomassa tulossa yksipuoleisen käyttöjännitteen vuoksi. Vahvistettu signaali syötetään komparaattorille LM339, joka vertaa signaalia referenssijännitteeseen, ja kun tämä referenssijännite ylitetään, komparaattori antaa pulssin eteenpäin 8051:sen keskeytyslinjaan. 8051:sen keskeytyslinja reagoi laskeutuvaan reunaan, ja tästä syystä komparaattori on kytketty invertoivaksi.

Lämpötilakompensointi

Äänen nopeus on riippuvainen lämpötilasta, joten kytkentään täytyi tehdä lämpötilakompensointi. Kompensointiin on käytetty lämpötila-anturia LM335, joka on lähes lineaarinen -40 – 100 °C:n lämpötilassa. Anturi on kytketty operaatiovahvistin LM358:aan, jota käytetään differentiaalivahvistimena, jonka vahvistus on noin 20. Differentiaalivahvistin vertaa tulevaa signaalia $2,89$ V jännitteeseen, ja näiden erotus vahvistetaan. Vahvistettu erotus syötetään AD- muuntimelle, joka on kytketty 8051:een.

8051:llä mittauksesta saatua tietoa käytetään laskemaan äänen nopeus mitatussa lämpötilassa. Kyseiseen laskuun oleva kaava on

$$v_1 = v_0 \sqrt{\frac{T_1}{T_0}} \quad (3)$$

v_0 (331 m/s) on nopeus lämpötilassa T_0 (273 °K, 0 °C) ja T_1 on mitattu lämpötila.

4.3 Rakentaminen

Aluksi kytkennät tehtiin koekytkentäalustoille, lähetin omalleen ja vastaanotin omalleen, jotta kokoaminen olisi helpompaa ja osat eivät häiritsisi toisiaan. Rakentaminen aloitettiin lähettimestä, koska se oli pienempi näistä kahdesta ja helpompi saada toimimaan.

Lähettimen kytkentään ei tullut regulaattoria, koska logiikkapiirit CD4011 ja CD4009 toimivat 9 V:n jännitteellä. Kyseisen komponentin rakentamisessa ei ilmennyt ongelmia. Komponentin valmistuttua tehtiin lyhyt testi, syötettiin signaaligeneraattorilla lähettimen läpi 5 V kantti-aaltoa ja otettiin vastaan se vastaanottopuoleen kuuluvalla ultraäänimikrofonilla, jolta signaali syötettiin oskilloskoopille, jolla nähtiin, toimiko lähetin. Kun lähettimen toiminta oli varmistettu, aloitettiin vastaanottimen valmistus.

Vastaanotin rakennettiin aluksi suunnitelman mukaisesti koekytkentäalustalle, mutta toivuustestauksen aikana huomattiin toimintaetäisyyden olevan liian lyhyt. Pohdiskelujen ja työn ohjaajan kanssa käydyn keskustelun jälkeen pääteltiin, että kyseisen kytkennän vahvistus ei ollut tarpeeksi suuri. Yksittäinen vahvistin ”kyykkäsi”, eikä kyennyt vahvistamaan signaalia

kyllin paljon. Päädyttiin lisäämään toinen vahvistin komparaattorin ja alkuperäisen vahvistimen väliin. Vahvistimien vahvistusten säätämisen jälkeen päästiin haluttuun etäisyyteen koe-kytkentäalustoilla.

Vastaanottimen yhteyteen rakennettiin myös lämpötilakompensointi. Lämpötilakompensointi saatiin toimimaan heti. Lisäksi vastaanottimeen liitettiin 8051-mikroprosessori, jonka jälkeen siirryttiin ohjelmointiin.

4.4 Ohjelmointi

Ohjelman luominen aloitettiin siitä perusideasta, miten laitteen tulisi toimia, eli ensin lähettään pulssi, jonka kaiku sitten vastaanotetaan. Tällöin mitataan lähetyksen ja vastaanoton välinen viive, josta sitten lasketaan signaalin kulkema matka. Ohjelmakoodi on liitteenä 2.

Ensimmäinen ongelma oli lähetettävän pulssin luominen ohjelmallisesti. Aluksi se yritettiin luoda viiveiden avulla, joiden luomiseen olisi tarvittu ylimääräinen laskuri 8051:n laskureiden lisäksi. Kun ongelmasta keskusteltiin Ismo Taluksen kanssa, hän neuvoi kirjoittamaan 8051:n portin tilaan 1, 14 kertaa ja sen jälkeen tilaan 0, 13 kertaa. Kertojen määrällä pystytään vaikuttamaan pulssin leveyteen ja pulssisuhteeseen..

Toinen ongelma ilmeni lähetyksen ja vastaanoton välisen viiveen mittauksessa. Ensimmäisissä toimintatesteissä huomattiin, että laite antoi samaa tulosta koko ajan. Jonkin aikaa pohdittiin, kunnes tajuttiin, että laite ottaa välittömästi vastaan lähetyksen pulssin. Tämä korjautui lisäämällä pieni viive koodiin ennen keskeytyksen vertailua. Lisäksi ilmeni ongelma laskettaessa yhteen laskurin ylempien ja alempien bittien tulosta. Koska kyseisenlaisista laskuista ei ollut aikaisempaa kokemusta, asiasta konsultoitin laajemman tietämyksen omaavan luokkalaisen kanssa, jonka osaavien neuvojen avulla ongelma ratkesi.

Muut ongelmat liittyivät lähinnä siihen, minkälaisia muuttujia tulisi käyttää, jotta laskut onnistuisivat. Näistä ongelmista selviydyttiin kokeiluperiaatteella. Ohjelman muut osat onnistuivat opintojen yhteydessä kertyneiden esimerkkikoodien ansiosta.

5 TESTAUS

Testausta suoritettiin käytännössä koko ajan rakentamisen yhteydessä varmistamassa komponenttien toimivuutta. Testaustapoja oli muutamia. Lähettimen toimivuustestaus on selitetty kohdassa 3.3, toinen kappale. Vastaanottimen toiminta todettiin melkein samalla tavalla, mutta pelkän anturin sijasta käytettiin rakennettua vastaanotinta, jonka ulostulosta nähtiin, milloin kyseinen komponentti toimi. Vajaa etäisyys todettiin juuri tämän testin avulla. Siirrettäessä vastaanotinta kauemmas lähettimestä havaittiin vastaanottimen ulostulossa vaimenemista, kunnes lopulta signaali katosi kokonaan.

Tarvittavien muutosten, 8051:n lisäämisen ja ohjelman syöttämisen jälkeen testi muuttui. Syötettävä signaali luotiin ohjelmallisesti, sekä tulokset havaittiin osaksi ohjelmallisesti. Lisäksi laitteen lähettimeen ja vastaanottimeen liitettiin muisti-oskilloskooppi, jolla havaittiin signaalien muutokset laitteen etäisyyden muuttuessa seinään nähden. Muisti-oskilloskoopilla nähtiin myös viive, joka syntyi lähetyksen ja vastaanoton välille. Tätä käytettiin varmistamaan ohjelman laskeman viiveen paikkansa pitävyys.

Viiveiden takia laitteen valmistus jäi kesken, joten lopullista testausta ei suoritettu. Kyseinen testi ei kuitenkaan olisi eronnut edellä selostetusta testistä muuten kuin, että muisti-oskilloskoopilla olisi otettu tulosteet muutamien etäisyyksien mittauksista, joiden avulla olisi osoitettu laitteen mittaavan oikein.

6 YHTEENVETO

Työssä suunniteltiin ja rakennettiin kohtalaisesti toimiva etäisyysmittari, joka käyttää ultraääntä mittauksessa. Kohtalaisella tarkoitetaan, ettei laite kykene mittaamaan asetettuun 3 m:n tavoitteeseen. Laite kykenee mittaamaan n. 1,5 m:n etäisyydeltä ± 5 cm:n tarkkuudella. Kauempana kohteesta laite ei enää havaitse lähettämäänsä ultraäänisignaalia.

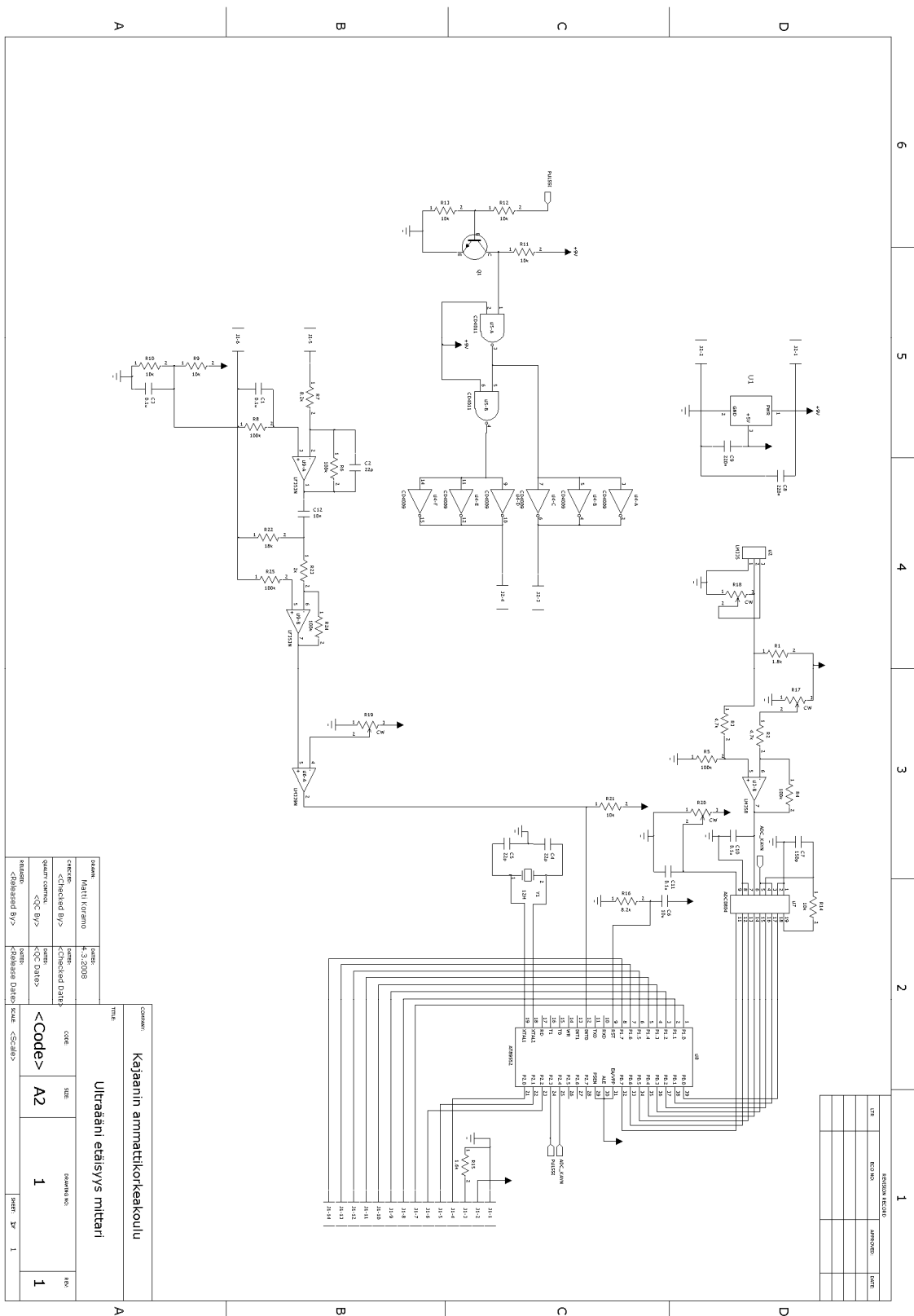
Suunnittelussa etsittiin ensin tietoa, miten laitteen tulisi toimia. Tämän jälkeen etsittiin mahdollisia esimerkkikytkentöjä, joita voitiin soveltaa käytetylle 8051-mikroprosessorille. Mikroprosessorin tarvitsema ohjelma luotiin tietokonetekniikanlaboraatioissa kertyneiden esimerkkikoodien avulla. Ohjelmoinnissa esiintyneisiin ongelmiin löytyi apua valvoja Jukka Heinolta ja laboratorioinsinööri Ismo Talukselta.

Kehittämiskohteina olisi mittausetäisyyden pidentäminen sekä tarkkuuden parantaminen.

LÄHTEET

- [1] Bureau International des Poids et Mesures, SI –base units [WWW-dokumentti]
<http://www.bipm.org/en/si/base_units/>. (Luettu 15.03.2008)
- [2] Nice, Karim. How odometers works. viimeksi muutettu 30.10.2008 [WWW-dokumentti]
<<http://auto.howstuffworks.com/odometer.htm>>
- [3] Teknillinen korkeakoulu. Interferometri [WWW-dokumentti]
<<http://tfy.tkk.fi/kurssit/Tfy-3.15xx/Teoria/tyo25.pdf>> (Luettu 04.04.2009)
- [4] Dr. Pachotta Rüdiger. Interferometers. viimeksi muutettu 13.3.2009 [WWW-dokumentti]
<<http://www.rp-photonics.com/interferometers.html>>
- [5] Borenius, Jauhiainen, Lampio, Nuotio, Pesonen, Pyykkö. Akustiikan perusteet. Insinööritieto Oy, 1981. ISBN 951-793-257-X
- [6] Nyman, H. Ultraäänimittausten käyttö kylvölannoittimen anturina. viimeksi muutettu 19.12.2008 [WWW-dokumentti] <<http://aut-bscw.hut.fi/pub/bscw.cgi/d53933/Loppuraportti>>
- [7] Malm, Kivipuro, Tiisanen. Laajojen koneautomaatiojärjestelmien turvallisuus. Libella Painopalvelu Oy, 1998 [WWW-dokumentti]
<<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1938.pdf>> ISBN 951-38-5410-8 (nid.)

ULTRAÄÄNIETÄISYYSMITTARIN PIIRIKAAVIO



Kajaanin ammattikorkeakoulu		KODINUMERO		AMMATTIKORKEAKOULU		MÄÄRÄ	
TITLE		KODINUMERO		AMMATTIKORKEAKOULU		MÄÄRÄ	
Ultraäänietäisyysmittari		KODINUMERO		AMMATTIKORKEAKOULU		MÄÄRÄ	
version	Matti Korhonen	date	4.3.2008	checked	<Checked By>	size	5000000
checked	<Checked By>	date	<Checked Date>	quantity	<QC By>	release	1
release	<QC By>	date	<QC Date>	scale	<Scale>	sheet	1 / 1

ULTRAÄÄNIETÄISYYSMITTARIN OHJELMAKOODI

```
/* TTI4S Matti Koramo, Ultraääni etäisyysmittari*/
```

```
#include <io_a89.h>
```

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

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

```
#include <math.h>
```

```
#define lcd_rs P2.0
```

```
#define lcd_rw P2.1
```

```
#define LCD_enable P2.2
```

```
#define lcd_data P1
```

```
#define ADC P0
```

```
#define PULSSI P2.3
```

```
#define ADCkayn P2.4
```

```
void viive(int pituus);
```

```
void lcd_alustus();
```

```
void lcd_tulostus(char[]);
```

```
void mittaus();
```

```
void pulssi();
```

```
void LCDnaytto(int rs, char tietoa);
```

```
void Aika();
```

```
float lampo=0;
```

```
unsigned int kesk=0;
```

```
float AIKA=0;
```

```
main ()
{
    char merkit[16];

    float nopeus=0;

    float matka=0;

    unsigned int cm=0;

    unsigned int mm=0;

    unsigned int Lampo=0;

    ADCkayn=1;

    ADCkayn=0;

    ADCkayn=1;

    PULSSI=0;

    TMOD=0x11; /*laskuri 0 ja laskuri 1 ovat 16-bittisiä*/

    lcd_alustus();

    for (;;)
    {
        TCON=0x01; /*int0 reagoi laskevaan reunaan*/

        IE=0x81; /*keskeytyksen int0 sallinta*/

        viive (10);

        mittaus(); /*Mittaus aliohjelman kutsu*/

        pulssi();

        Aika();

        nopeus=331*sqrt(lampo/273);

        matka=nopeus*AIKA/2000;

        cm=matka/10;
```

```
mm=(int)matka%10;

Lampo=AIKA;

sprintf(merkit,"%d,%d cm, %d",cm,mm,Lampo); /*Mittaustuloksen tulostus*/

lcd_tulostus(merkit);

cm=0;

mm=0;

AIKA=0;

matka=0;

kesk=0;

nopeus=0;

viive(300);

    }

}

void viive(int pituus)

{

    int i;

    for(i=0;i<pituus;i++)

    {

        TL0=0x5f; /*1ms viive*/

        TH0=0xfc;

        TR0=1; /*laskurin 0 käynnistys*/

        while (TF0==0); /*tutkitaan milloin laskurin 0 ylivuotolippu asettuu 1:ksi*/

        TR0=0; /*laskurin 0 pysäytys*/
```

```
        TF0=0; /*ylivuotolipun nollaus*/
    }
}

void Aika()
{
    TL1=0;
    TH1=0;
    TR1=1; /*laskurin 1 käynnistys*/
    viive(1);
    while(kesk==0); /* odotetaan keskeytys pulssia*/
    TR1=0; /*laskurin 1 pysäytys*/
    AIKA = TH1*0x100+TL1; /* = TH1<<8 + TL1*/
}

void lcd_alustus()
{
    int i;
    char alustus[11]={0x30,0x30,0x30,0x38,0x08,0x01,0x07,0x01,0x0F,0x06,0x01};
    for (i=0;i<11;i++)
    {
        LCDnaytto(0,alustus[i]);
        viive(10); /*n.10ms:n viive*/
    }
}
```



```
PULSSI=1;
```

```
PULSSI=1;
```

```
PULSSI=1;
```

```
PULSSI=1;
```

```
PULSSI=1;
```

```
PULSSI=1;
```

```
PULSSI=0;
```

```
PULSSI=0;
```

```
PULSSI=0;
```

```
PULSSI=0;
```

```
PULSSI=0;
```

```
PULSSI=0;
```

```
PULSSI=0;
```

```
PULSSI=0;
```

```
PULSSI=0;
```

```
PULSSI=0;
```

```
PULSSI=0;
```

```
PULSSI=0;
```

```
PULSSI=0;
```

```
}
```

```
}
```

```
interrupt void EX0_int (void)
```

```
{
```

```
    kesk++;
```

```
}
```

```
void lcd_tulostus(char merkit[])
{
    int i;
    LCDnaytto(0,0x01); /* näytön tyhjennys */
    viive (10);
    for (i=0;i<strlen(merkit);i++)
    {
        if (i==8)
        {
            LCDnaytto(0,0x0C0); /* rivin vaihto */
            viive (10);
        }

        if (merkit [i]=='ä')
        {
            LCDnaytto(1,0x0E1); /*11100001 */
            viive(1);
        }

        else if(merkit[i]=='ö')
        {
            LCDnaytto(1,0x0EF); /*11101111 */
            viive(1);
        }
    }
}
```

```
        else
        {
            LCDnaytto(1,merkit[i]);
            viive (1);
        }
    }
}
```

```
void LCDnaytto(int rs, char tietoa)
{
    lcd_rs=rs;
    LCD_enable=1;
    lcd_data=tietoa;
    LCD_enable=0;
    viive(1);
}
```