

# **USB-OHJATTAVA OPASTENÄYTTÖ**

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tietotekniikan koulutusohjelma

Tietokone-elektroniikka

Opinnäytetyö

Syksy 2007

Mika Kaija

Lahden ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan koulutusohjelma

KAIJA, MIKA: USB-ohjattava opastenäyttö

Tietokone-elektronikan opinnäytetyö, 40 sivua, 9 liitesivua

Syksy 2007

---

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa monikäyttöinen elektroninen ilmoitustaulu, johon voidaan ohjelmoida sekä välittömiä että ajastettuja toimintoja. Kyseinen laite toteutettiin Lahden ammattikorkeakoulun Tekniikan laitoksen opinto-ohjaajan, Tommi Veijalaisen, pyynnöstä. Laitteen suunnittelussa noudatettiin mahdollisimman tarkasti opinto-ohjaaja Veijalaisen määräyksiä.

Laite on tarkoitus asentaa seinälle opinto-ohjaajan toimiston oven ulkopuolelle. Opinto-ohjaajan täytyy voida ohjata laitteen toimintaa omalta tietokoneeltaan. Tällöin opinto-ohjaaja voi informoida oppilaita lyhyillä, tekstipohjaisilla viesteillä, jotka näkyvät laitteen näytöllä. Vaikka laitetta ohjataan isäntätietokoneelta käsin, sen täytyy pystyä myös itsenäiseen toimintaan, kun yhteys isäntätietokoneeseen katkaistaan.

Laitteesta suunniteltiin sulautettu järjestelmä, jossa mikrokontrolleri ohjaa neste-kidenäyttöä isäntätietokoneelta lähetettyjen käskyjen perusteella. Mikrokontrolleri on yhteydessä isäntätietokoneeseen USB:n avulla. USB toteutettiin mikrokontrollerissa täysin ohjelmistopohjaisella AVR-USB -firmwarella. Tällöin laitteeseen ei täytynyt lisätä erillistä USB:n ohjauspiiriä. Laitteen ajastetut toiminnot mahdollistettiin mikrokontrolleriin liitetyllä reaaliaikakellopiirillä. Laitteeseen lisättiin myös painonappi, jotta laite toimii haluttaessa ovikellona.

Laitteesta suunniteltiin kaksi versiota, joista vain ensimmäinen ehdittiin toteuttaa tämän opinnäytetyön aikataulussa. Toinen, paranneltu versio on tarkoitus toteuttaa lähitulevaisuudessa. Testien perusteella laitteen ensimmäinen versio toimi USB:tä lukuun ottamatta. USB ei toiminut, koska sen kytkennässä oli tehty muutamia virheitä. Laitteen toisessa versiossa USB:n kytkennän virheet korjattiin, mikrokontrollerin toimintaa nopeutettiin ja laitteesta poistettiin muutamia tarpeettomiksi havaittuja komponentteja. Laite on tarkoitus ottaa käyttöön, kun sen toinen versio toteutetaan.

Asiasanat: elektroninen ilmoitustaulu, sulautettu järjestelmä, USB-ohjaus, ajastus

Lahti University of Applied Sciences  
Faculty of Technology

KAIJA, MIKA: USB controlled information display

Bachelor's Thesis in Computer Electronics, 40 pages, 9 appendices

Autumn 2007

---

## ABSTRACT

The objective of this thesis was to design and create a multifunctional electronic notice board which can be programmed with instant as well as timed functions. The device was commissioned by Tommi Veijalainen who is the student counsellor at the Faculty of Technology of Lahti University of Applied Sciences. The device was designed according to the definitions given by Mr Veijalainen.

The device is to be mounted on the wall outside the door to the student counsellor's office. The student counsellor has to be able to control the device with his computer. Thus he can inform students with short text-based messages displayed on the screen of the device. Even though the device is controlled with a host computer, it has to function independently when the host is disconnected.

The device is an embedded system where a microcontroller controls a liquid crystal display according to the host computer's instructions. The microcontroller is connected to the host computer with USB. The USB link in the microcontroller was implemented with a fully software-based firmware called AVR-USB. Thus there was no need to use an external USB controller chip. The timed functions of the device were enabled with a real-time clock chip. A push button was added so that the device could also function as a doorbell.

Two versions of the device were designed but only the first version was created in the time schedule of this thesis. The second and improved version is to be realized in the near future. According to tests, the first version of the device worked, excluding the USB. The USB did not work because of some errors in its connection logic. In the second version of the device the errors in the USB's connection logic were corrected, the microcontroller's clock frequency was increased and some unnecessary components were removed. The device is to be utilized when the second version is created.

Key words: electronic notice board, embedded system, USB control, timing

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 LAITTEEN MÄÄRITTELY	2
2.1 Laitteen perusvaatimukset	2
2.2 Laitteen lisäominaisuus	3
3 LAITTEEN TOIMINTAPERIAATE	4
3.1 USB:n toiminta	4
3.1.1 USB 1.1 -tekniikka	5
3.1.2 USB:n käyttöönotto	7
3.1.3 AVR-USB	8
3.2 Mikrokontrollerin toiminta	10
3.2.1 Atmel AVR	11
3.2.2 AVR:n käyttöönotto	12
3.3 Reaaliaikakellopiirin toiminta	14
3.4 Nestekidenäytön toiminta	16
3.5 Painonapin toiminta	17
4 LAITTEEN SUUNNITTELU	18
4.1 Suunnittelun lähtökohdat	18
4.2 Kytkenän suunnittelu	19
4.2.1 Mikrokontrollerin kytkentä	20
4.2.2 USB-liittimen kytkentä	21
4.2.3 Nestekidenäytön kytkentä	24
4.2.4 Painonapin kytkentä	26
4.2.5 Reaaliaikakellopiirin kytkentä	27
4.3 Piirilevyn suunnittelu	29
5 LAITTEEN TOTEUTUS	33
6 LAITTEEN TESTAUS	35
7 POHDINTA	40
LÄHTEET	41
LIITTEET	43

## 1 JOHDANTO

Idea tässä tietokone-elektroniikan opinnäytetyössä suunniteltuun ja rakennettuun laitteeseen sai alkunsa muun muassa monien vastaanottojen ovien viereen asennetuista odotusvalotauluista. Tällainen odotusvalotaulu näyttää pieneltä liikennevalotaululta ja se ilmaisee, milloin vastaanotolle pyrkivä henkilö voi tulla vastaanottotilan ovesta sisään. Tällainen odotusvalosysteemi koostuu laiteparista, johon kuuluvat vastaanottotilan ulkopuolella oleva odotusvalotaulu sekä vastaanottotilassa oleva valotaulun ohjausyksikkö.

Perinteisen odotusvalosysteemin käyttöliittymä on hyvin yksinkertainen. Vastaanotolle pyrkivä henkilö voi ainoastaan painaa valotaulussa olevaa nappia, joka soittaa ohjausyksikössä olevaa summeria. Odotusvalojen ohjausyksikköä käyttävä henkilö voi valita kolmesta vaihtoehdosta, mikä valo odotusvalotaulussa syttyy. Nämä vaihtoehdot ovat varattu, odota sekä sisään. Ohjausyksiköstä valitut vaihtoehdot esitetään valotaulussa kolmella allekkain sijoitellulla valolla. Punainen valo ilmaisee varattu-vaihtoehtoa, keltainen valo odota-vaihtoehtoa sekä vihreä valo sisään-vaihtoehtoa.

Perinteisen odotusvalosysteemin toiminta on hyvin yksinkertaista ja sen välittämän informaation määrä on vähäinen. Kyseinen systeemi ilmaisee ainoastaan milloin odottava henkilö voi tulla sisään ovesta. Tämän systeemin idean pohjalta haluttiin kehittää monipuolisempi ja muokattavampi laite, jolla voidaan korvata perinteinen odotusvalosysteemi.

Tässä opinnäytetyössä suunnitellun ja rakennetun laitteen haluttiin korvaavan perinteinen odotusvalosysteemi monipuolisemmalla ja ennen kaikkea informatiivisemmalla laitteella, joka voidaan asentaa vastaanottotilan oven ulkopuolelle. Tämän opinnäytetyön alkuosassa esitellään suunniteltavan laitteen perusvaatimukset ja muut ominaisuudet, minkä jälkeen käsitellään laitteen hyödyntämien tekniikoiden teoriaa. Teoriaosuuden jälkeen käydään läpi laitteen suunnittelu, toteutus sekä lopuksi testaus.

## 2 LAITTEEN MÄÄRITTELY

### 2.1 Laitteen perusvaatimukset

Käytän tässä opinnäytetyössä suunniteltua ja rakennettua laitetta jatkossa nimityksellä opastenäyttö. Kyseinen opastenäyttö toteutettiin Lahden ammattikorkeakoulun Tekniikan laitoksen opinto-ohjaajan, Tommi Veijalaisen, pyynnöstä. Laitteen toteutuksessa pyrittiin noudattamaan mahdollisimman tarkasti Veijalaisen laitteelle määrittelemiä perusvaatimuksia.

Opastenäytön tärkein perusvaatimus oli, että opastenäytölle voidaan kirjoittaa lyhyitä, muutaman sanan viestejä. Näillä viesteillä voidaan ilmoittaa esimerkiksi opinto-ohjaajan vastaanottoajat tai muita opinto-ohjaukseen liittyviä tietoja. Jos opastenäytölle kirjoitettavat viestit halutaan jaotella osiin, opastenäytön täytyy osata kierrättää käyttäjän kirjoittamia viestejä tietyin aikavälein. Käyttäjä voi itse määritellä viestien vaihtumisajan sekunteina, jolloin jokainen viesti näkyy kyseisen ajan opastenäytöllä. Kun määritelty aika on kulunut umpeen, opastenäyttö vaihtaa seuraavan, ennalta kirjoitetun viestin näytölle.

Toinen opastenäytön perusvaatimus oli, että opastenäyttöä voidaan helposti ja nopeasti hallinnoida isäntätietokoneelta käsin. Tätä tarkoitusta varten opastenäyttöön haluttiin USB-liitäntä, jolla opastenäyttö ja siihen aika ajoin liitetty, x86-arkkitehtuuriin pohjautuva isäntätietokone muodostavat laiteparin. USB eli Universal Serial Bus on standardisoitu, sarjamuotoinen tiedonsiirtoväylä, jolla kaksi toisiaan lähellä olevaa laitetta voivat kommunikoida keskenään.

Opastenäytön kolmas perusvaatimus oli, että opastenäytön täytyy toimia itsenäisesti, vaikka sitä ohjataan ulkoisesti isäntätietokoneen avulla. Opastenäytön tulee saada käyttöjännitteensä muualta kuin USB:n kautta, koska opastenäytön täytyy toimia myös silloin, kun isäntätietokone ei ole yhteydessä siihen. Tämän takia opastenäytön käyttöjännite otetaan kaupallisesta sähköverkkomuuntajasta eikä isäntätietokoneen USB-portista, kuten monet muut USB-liitäntäiset elektronikalitteet.

Opastenäytön täytyy olla riippumaton isäntätietokoneesta myös ohjelmoinnin kannalta. Opastenäytön liittäminen ja irrottaminen isäntätietokoneen kommunikativällyän ei saa heikentää opastenäytön toimintaa millään tavalla.

Opastenäytön neljäs perusvaatimus oli, että opastenäyttö sisältää reaaliaikakellopiirin. Reaaliaikakello sisältää päiviä sekä kellonaikaa laskevan piirin. Lisäämällä opastenäyttöön reaaliaikakellopiiri, voidaan opastenäyttöön ohjelmoida ajastettuja viestejä, sekä ilmoittaa viesteissä nykyinen päivämäärä ja kellonaika ilman jatkuvaa yhteyttä isäntätietokoneeseen.

## 2.2 Laitteen lisäominaisuus

Opinto-ohjaaja Veijalainen määritteli opastenäytön perusvaatimukset melko tarkasti, mutta laitteen toteutustavan hän jätti USB:tä lukuun ottamatta tarkoituksella avoimeksi. Tällä tavoin laitteen suunnittelulle ja toteutukselle jäi hyvin liikkumavaraa. Koska tärkeimmät opastenäytön ominaisuudet määriteltiin jo opinto-ohjaajan vaatimuksissa ja eräs vaatimus oli, että laitteen käytön tulee olla helppoa ja nopeaa, opastenäyttöön ei haluttu lisätä montaa ylimääräistä ominaisuutta. Koska opastenäytöstä tuli jo perusvaatimuksien pohjalta riittävän monipuolinen ja käyttötarkoitukseensa sopiva laite, jälkeinpäin keksityt lisäominaisuudet olisivat vain turhaan monimutkaistaneet opastenäytön toimintaa.

Ainoa ominaisuus, joka lisättiin opastenäyttöön perusvaatimuksissa määriteltyjen ominaisuuksien lisäksi, oli perinteisen odotusvalosysteemin toiminnallisuus. Opastenäyttöä voidaan käyttää myös perinteisen odotusvalotaulun tavoin kirjoittamalla reaaliaikaisia eli välittömästi näytölle ilmestyviä viestejä. Nämä viestit voivat sisältää odotusvalosysteemissä käytetyt kolme vaihtoehtoa: varattu, odota sekä sisään. Tätä käyttötarkoitusta varten opastenäyttöön lisättiin painonappi näytön yhteyteen. Kun oven ulkopuolella odottava henkilö painaa nappia, opastenäyttöön liitettyyn tietokoneeseen tulee ilmoitus tapahtumasta. Tällöin painonappia voidaan käyttää ovikellon tavoin.

### 3 LAITTEEN TOIMINTAPERIAATE

Vaikka opastenäyttöön määriteltiin paljon ominaisuuksia, laitteen toimintaperiaate haluttiin pitää mahdollisimman yksinkertaisena, jotta laitteen käyttö olisi helposti ymmärrettävää ja nopeaa. Opastenäytöstä haluttiin kuitenkin tehdä mahdollisimman pitkälle itseohjelmoitava ja mukautuva. Tämä asettelu monimutkaisti opastenäytön suunnittelua ja aiheutti laitteen aikaisessa suunnitteluvaiheessa ajoittaisten kompromissien tekemistä.

#### 3.1 USB:n toiminta

Kuten perinteinen odotusvalosysteemi, joka sisältää odotusvalotaulun ja ohjausyksikön muodostaman laiteparin, myös opastenäyttö toimii laitepariperiaatteella. Opastenäyttö muodostaa laiteparin x86-pohjaisen tietokoneen kanssa. Laiteparin kommunikointiväylänä toimii USB, joka voi lähettää nopeaa, sarjamuotoista dataa laitteiden välillä. Opastenäytössä on mikrokontrolleri, joka vastaanottaa isäntätietokoneelta tulevan opastenäytön ohjausdatan ja säilöö sen omaan muistiinsa.

Mikrokontrolleri ei tarvitse jatkuvaa yhteyttä laiteparina toimivaan tietokoneeseen. Kun isäntätietokone on liitetty USB:llä opastenäyttöön, tietokoneelta voidaan suoraan kirjoittaa viestejä opastenäytön nestekidenäytölle, viestejä voidaan ajastaa, viestien aikaviivettä voidaan muuttaa sekä opastenäytön sisäistä reaaliaikakellopiiriä voidaan hallita. Kun laitepari erotetaan toisistaan, opastenäyttö jatkaa toimintaansa näyttäen isäntätietokoneelta aiemmin kirjoitettuja ja ajastettuja viestejä. Opastenäytön toimintaa voidaan hallita jälleen, kun isäntätietokone liitetään siihen USB:llä.



### 3.1.1 USB 1.1 -tekniikka

USB eli Universal Serial Bus on USB-IF:n eli USB Implementers Forumin kehittämä väyläratkaisu. USB-IF on useiden elektroniikka-alan yhtiöiden muodostama ei-kaupallinen kattojärjestö, joka vastaa USB-tekniikan kehittamisestä ja markkinoinnista. (USB Implementers Forum 2007.)

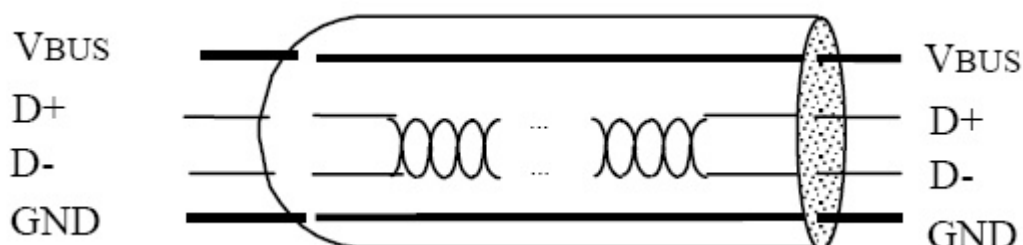
USB:stä haluttiin kehittää käyttäjäystävällinen, halpa ja monikäyttöinen väyläratkaisu tietokoneen ulkoisille oheislaitteille. USB-tekniikan avulla haluttiin korvata tietokoneeseen liitettävien oheislaitteiden, kuten hiiren, näppäimistön ja peliohjainten, vanhentuneet väyläratkaisut yhtenäisellä ja helposti laajennettavalla liitettävällä. (Compaq, Intel, Microsoft & NEC 1998, 1.)

USB on kaksisuuntainen, half-duplex –tyyppinen väyläratkaisu (Compaq ym. 1998, 107). Väylän kaksisuuntaisuus tarkoittaa sitä, että mikä tahansa väylälle kytketty laite voi lähettää dataa muihin väylän laitteisiin. Half-duplex -ominaisuus tarkoittaa sitä, että väylälle kytketyt laitteet joutuvat kommunikoimaan vuorotellen. Tällöin ainoastaan yksi laite voi lähettää dataa ja muut laitteet joutuvat odottamaan lähetysvuoroaan. Half-duplexin vastakohta on full-duplex, jonka avulla laitteet voivat lähettää samalla väylällä dataa toisilleen yhtäaikaaisesti.

USB 1.1 käyttää kahta eri tiedonsiirtonopeutta. Low-speed -tilassa USB:n tiedonsiirtonopeus on 1,5 Mb/s ja full-speed -tilassa 12 Mb/s. Low-speed -tila on tarkoitettu vähän tiedonsiirtokaistaa vaativille laitteille, kuten tietokoneen ohjauslaitteille. Full speed -tila on vastaavasti tarkoitettu enemmän tiedonsiirtokaistaa vaativille laitteille. Molempia tiedonsiirtonopeuksia voidaan käyttää samassa väylässä USB:n dynaamisen nopeustilan vaihdon ansiosta. (Compaq ym. 1998, 107.)

USB-kaapelissa kulkee neljä johdinta:  $V_{BUS}$ , GND, D+ ja D-.  $V_{BUS}$  ja GND ovat käyttöjännitteen sekä maatason johtimet, joilla USB:hen kytketty isäntälaitte antaa 5 voltin käyttöjännitteen oheislaitteelle. D+ ja D- ovat differentiaalisen datasiignaalin johtimet, joissa kulkee datan lisäksi kellosignaali. Kellosignaalin avulla lähetetyn datan vastaanotto voidaan synkronoida eli tahdistaa. Näin vastaanottava laite tietää, missä tilassa datan lähetys on. D+ ja D- -johtimet on kiedottu

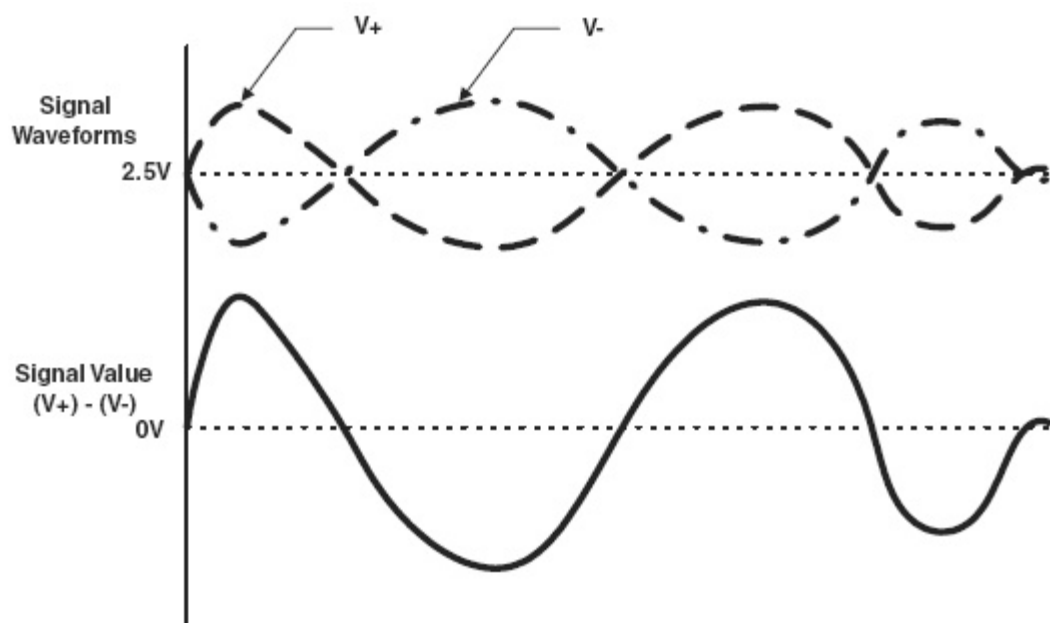
toistensa ympärille USB-kaapelin sisällä elektromagneettisten häiriöiden vähentämiseksi. Selventävä poikkileikkaus USB-kaapelista on kuviossa 1. (Compaq ym. 1998, 17.)



KUVIO 1. USB-kaapelin poikkileikkaus (Compaq ym. 1998, 17)

Mikäli USB:hen kytketty oheislaitte ottaa käyttöjännitteensä isäntälaitteelta, tulee USB:n virranrajoitus ottaa huomioon. USB:n virranantokyky on jaettu yksiköihin, ja yksi yksikkö vastaa sadan milliampeerin virranantokykyä. USB voi antaa oheislaitteelle virtaa korkeintaan viiden yksikön eli viiden sadan milliampeerin verran. Jokaiselle USB:n kautta käyttöjännitteensä ottavalle oheislaitteelle annetaan oletuksellisesti korkeintaan yhden yksikön verran virtaa. Jos laite tarvitsee enemmän virtaa, sen täytyy pyytää lisäyksiköitä isäntälaitteelta ohjelmallisesti. (Compaq ym. 1998, 134.)

Differentiaalinen signaaliointi on tekniikka, jota voidaan käyttää nopeasti muuttuvassa, sarjamuotoisessa signaalissa. Differentiaalisessa signaloinnissa käytetään sarjamuotoisen datan lähettämiseen kahta johdinta. Lopullisen signaalin jännitetaso saadaan laskemalla differentiaalisignaali johtimien jännitetasojen erotus kuvion 2 esittelemällä tavalla. Differentiaalisignaali johtimien jännitetasojen keskiarvo pysyy yleensä vakiona, vaikka jännitetasot muuttuvat. (Lattice Semiconductor Corporation 2001, 1.)



KUVIO 2. Differentiaalisignaalin aaltomuodot sekä niiden yhteenlaskettu arvo (Lattice Semiconductor Corporation 2001, 1)

Differentiaalisella signaloinnilla on useita hyödyllisiä ominaisuuksia. Differentiaalinen johdinpari generoi vähemmän elektromagneettisia häiriöitä kuin yksittäinen, sarjadataa välittävä johdin. Johdinpari myös sietää paremmin ulkoisia, johdinpariin johtuvia elektromagneettisia häiriöitä sekä maatasen jännitemuutoksia. Kaiken kaikkiaan differentiaalisella signaloinnilla voidaan lähettää yksittäistä johdinta luotettavammin nopeaa, sarjamuotoista dataa. (Lattice Semiconductor Corporation 2001, 3-4.)

### 3.1.2 USB:n käyttöönotto

USB valittiin tiedonsiirtoväyläksi tässä opinnäytetyössä useastakin syystä. Päälimmäisenä syynä haluttiin kokeilla ja opetella käyttämään jotain uutta ja tällä hetkellä yleistä tiedonsiirtoväylää. En ollut aikaisemmin käyttänyt USB-tekniikkaa missään projektissa enkä ollut tutustunut USB-standardiin kovinkaan tarkasti. Näin ollen USB:n käyttö opastusnäytössä tarjosi hyvän oppimismahdollisuuden.

USB-väylätekniikan valinnalla oli myös käytännön syitä. USB:n käyttöönotto on halpaa. Piirilevylle asennettava USB-liitin on halpa, yleinen ja helppo juottaa ilman kalliita juotoskoneita. Lisäksi opastenäyttöön sopivia, muutaman metrin mittaisia USB-kaapeleita saa lähes mistä tahansa elektroniikkaliikkeestä huokeaan hintaan.

USB:n tiedonsiirtonopeus on opastenäyttöön riittävä jo low-speed -tilassa. Tässä tilassa väylän tiedonsiirtonopeus on 1,5 Mb/s, joka riittää hyvin lyhyiden, pelkääntään tekstipohjaisten viestien lähettämiseen. Lisäksi low-speed -tilassa elektromagneettisen häiriösuojauksen eli EMI-suojauksen merkitys pienenee, sillä hitaampi signaali on luonnollisesti häiriösietoisempi kuin nopea.

USB valittiin tähän opinnäytetyöhön myös sen helppokäyttöisyyden ansiosta. USB-väylätekniikka tukee tietokoneissa käytettävää PnP- eli Plug-and-Play -tekniikkaa sekä yleistä hot plug -ominaisuutta (Compaq ym. 1998, 12-13; Microsoft Corporation 2007). PnP-tekniikka mahdollistaa tietokoneen oheislaitteen automaattisen tunnistuksen ja asennuksen ilman käyttäjän toimia (Microsoft Corporation 2007). Hot plug tai hot swap on yleinen käsite, joka tarkoittaa sitä, että kyseistä ominaisuutta tukevan laitteen kytkentää voidaan muuttaa laitteen ollessa käynnissä ilman, että laitteen toiminta häiriintyy tai loppuu. USB:n tapauksessa hot plug pätee aina isäntätietokoneelle ja oheislaitteellekin siinä tapauksessa, että se ei ota käyttöjännitettään USB:n kautta vaan jostain ulkoisesta lähteestä, kuten omasta muuntajastaan.

### 3.1.3 AVR-USB

AVR-USB on itävaltalaisen ohjelmistoyhtiö Objective Development Software GmbH:n tekemä firmware-ohjelmisto. Kuten AVR-USB:n nimikin viittaa, se on Atmel AVR -mikrokontrollereille tarkoitettu USB-sovellus. AVR-USB:n avulla voidaan hallita USB:tä täysin ohjelmistopohjaisesti. Tällöin ei tarvita erityisiä USB:tä käsitteleviä komponentteja tai monimutkaisempia mikrokontrollereita, joihin USB on sisäänrakennettu. (Objective Development Software GmbH 2007.)

Firmware on yleinen termi tietokone-elektroniikassa. Firmwarella tarkoitetaan mikropiirin ohjelmistoa, joka on yleensä säilötty mikropiirin sisäiseen, ROM-tyyppiseen muistiin. Mikropiiri suorittaa muuta ohjelmointiaan firmware-ohjelmistonsa pohjalta. Tämä ohjelmisto on mikropiirin toiminnan kannalta elintärkeä ja siksi se lasketaan tiiviisti mikropiiriin kuuluvaksi osaksi.

AVR-USB -firmwaren avulla AVR-tuoteperheen mikrokontrollerit ovat yhteensopivia USB 1.1 low-speed -tilan kanssa. AVR-USB voidaan ottaa käyttöön AVR-mikrokontrollereissa, joissa on vähintään 2 kilotavua Flash-muistia, 128 tavua RAM:ia ja ne voidaan kellottaa toimimaan vähintään 12 MHz taajuudella. AVR-USB ei edellytä mikrokontrollerilta UART:n, ajastimien tai muiden erikoisominaisuuksien käyttöä. (Objective Development Software GmbH 2007.)

Vaikka AVR-USB on yhteensopiva USB:n kanssa, se ei noudata täysin USB:n standardia. AVR-USB käyttää karsittua virheenkorjausta ja sen sähköiset ominaisuudet eivät kaikilta osin täytä USB:n standardia (Objective Development Software GmbH 2007). Vaikka AVR-USB on epästandardi sovellus, se sopii silti hyvin ei-kaupalliseen käyttöön, missä käytännön toimivuus on tärkeämpää kuin standardien tarkka noudattaminen.

AVR-USB on oletuksellisesti GNU GPL -lisenssin alainen, ja siten ilmainen, ohjelmisto. Vaihtoehtoisesti AVR-USB:hen voi ostaa kaupallisen lisenssin kolmesta vaihtoehdosta. Halvin kaupallinen lisenssi maksaa 9,90 euroa. Tämä Hobby-lisenssi soveltuu nimensä mukaisesti hyvin harrastelijakäyttöön. Hobby-lisenssillä voi valmistaa viisi laitetta ei-kaupalliseen käyttöön. Entry Level -lisenssi maksaa 199 euroa ja sillä voi valmistaa 150 laitetta kaupalliseen käyttöön. Kallein Professional-lisenssi maksaa 500 euroa ja sillä voi valmistaa 10 000 laitetta kaupalliseen käyttöön. (Objective Development Software GmbH 2007.)

AVR-USB -ohjelmisto valittiin opastenyttöön, koska se mahdollisti Atmel AVR -mikrokontrolleriperheen käytön tässä työssä. Lahden ammattikorkeakoulun tietokone-elektroniikan kursseilla oli käytetty paljon AVR-mikrokontrollereita ja niiden arkkitehtuuri, ominaisuudet sekä työkalut olivat entuudestaan tutut. Tämä nopeutti opastenytön toteuttamista, sillä siirtyminen entuudestaan

tuntemattomaan mikrokontrolleriperheeseen ja sen käytön opettelu olisi vienyt turhaa aikaa tästä työstä. AVR-USB:n minimivaatimukset mikrokontrollerin osalta ovat alhaiset. Tämä mahdollistaa kattavan valikoiman vaihtoehtoja AVR-tuoteperheestä, jonka ansiosta suunnittelija voi vapaasti valita sopivan mikrokontrollerin USB-sovellukseensa. AVR-USB on lisäksi käyttäjäystävällinen ja hyvin dokumentoitu ohjelmisto. Se sisältää paljon selkeitä esimerkkejä erilaisista USB-sovelluksista, joiden pohjalta voi toteuttaa oman USB:tä hyödyntävän laitteen.

### 3.2 Mikrokontrollerin toiminta

Opastenäytön kaikkea toimintaa ohjaa sulautettu mikrokontrolleri. Tämä mikrokontrolleri toimii sen sisäiselle Flash-muistille ohjelmoidun firmwaren avulla. Mikrokontrolleri kommunikoi isäntätietokoneen kanssa USB:n välityksellä. Mikrokontrolleri säilöo isäntätietokoneelta lähetetyt, näytölle tulostettavat viestit ja niiden aikataulut sisäiseen, SRAM-tyyppiseen datamuistiinsa. Opastenäytössä ei ole virta- eikä reset-nappia, joten mikrokontrolleri käynnistyy heti, kun opastenäyttöön kytketään käyttöjännite. Mikrokontrolleri suorittaa ohjelmointiaan kunnes käyttöjännite katkaistaan. Koska mikrokontrolleri tallentaa vastaanotetut viestit sisäiseen SRAM:in, viestit ja niiden aikataulut tyhjäntyvät mikrokontrollerin muistista aina, kun opastenäytöstä katkaistaan käyttöjännite.

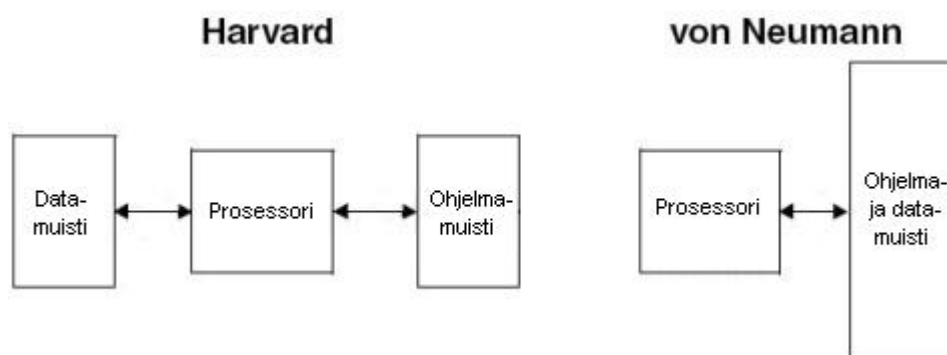
Opastenäytön sulautettu mikrokontrolleri ohjaa siihen liitetyn nestekidenäytön sekä reaaliaikakellopiirin toimintaa USB:n kautta vastaanotettujen viestien pohjalta. Kun isäntätietokoneelta lähetetään välittömästi näytettäväksi tarkoitettu viesti, mikrokontrolleri tallentaa sen sisäiseen muistiinsa ja lähettää sen mikrokontrollerista nestekidenäytölle opastenäytön sisäisen rinnakkaisväylän avulla.

Kun isäntätietokoneelta lähetetään ajastettu viesti, mikrokontrolleri tallentaa viestin ja sen alkamis- sekä päättymisajankohdan muistiinsa. Tämän jälkeen mikrokontrolleri tutkii, onko kyseistä ajankohtaa aikaisempia viestejä muistissa. Jos kyseistä ajankohtaa aiempia viestejä ei ole jonossa, mikrokontrolleri lähettää opastenäytön sisäisellä I<sup>2</sup>C-sarjaväylällä reaaliaikakellopiirille hälytyspyynnön kyseistä alkamisajankohtaa varten. Kun reaaliaikakellopiiri saa uuden hälytyksen

ajankohdan, se tallentuu reaaliaikakellopiirin sisäiseen muistiin. Reaaliaikakellopiiri lähettää keskeytyspyynnön mikrokontrollerille, kun ajastetun hälytyksen ajankohta tulee. Kun mikrokontrolleri vastaanottaa keskeytyksen, se lähettää ajastetun viestin sisällön nestekidenäytölle. Tämän jälkeen mikrokontrolleri lähettää viestin päättymisajankohdasta hälytyspyynnön reaaliaikakellopiirille. Kun päättymisajankohta tulee, reaaliaikakellopiiri lähettää jälleen keskeytyksen mikrokontrollerille. Kun tämä keskeytys vastaanotetaan, mikrokontrolleri tutkii, onko muistissa ajastamattomia viestejä. Jos ajastamattomia viestejä löytyy, mikrokontrolleri lähettää niistä viimeisimmäksi vastaanotetun nestekidenäytölle. Jos ajastamattomia viestejä ei ole muistissa, mikrokontrolleri tyhjentää nestekidenäytön. Mikäli opastenäyttöön on ajastettu muita viestejä, mikrokontrolleri tutkii, mikä niistä on seuraavaksi vuorossa. Tämän jälkeen mikrokontrolleri lähettää jälleen seuraavaksi ajastetun viestin alkamisajankohdan reaaliaikakellopiirille. Mikrokontrolleri jatkaa tätä toimintaa kunnes se sammutetaan katkaisemalla käyttöjännite.

### 3.2.1 Atmel AVR

Tässä opinnäytetyössä käytettiin yhdysvaltalaisen Atmel Corporationin AVR-tuoteperheeseen kuuluvaa ATmega8535 -mikrokontrolleria. Kaikki AVR-tuoteperheeseen kuuluvat mikrokontrollerit käyttävät Harvard- sekä RISC-arkkitehtuuria ja ne sisältävät 32 yleiskäyttöistä rekisteriä (Atmel Corporation 2007, 2). Harvard- ja RISC-arkkitehtuuri ovat yleisiä termejä tietokone-elektroniikassa ja ne molemmat kuvaavat prosessorin sisäistä rakennetta. Harvard-arkkitehtuurilla toteutetussa prosessorissa ohjelma- ja datamuisti ovat erotettu toisistaan. Tällöin prosessorin firmware sijaitsee yleensä ROM-tyyppisellä ohjelmamuistilla ja suorituksen aikaiset tiedot tallennetaan RAM-tyyppiselle datamuistille. Harvard-arkkitehtuuri on vastakohta von Neumann -arkkitehtuurille, jossa ohjelma- ja datamuisti sijaitsevat samassa muistissa. Kuviossa 3 on vuokaaviot molemmista arkkitehtuureista.



KUVIO 3. Harvard- ja von Neumann -arkkitehtuurit

RISC-arkkitehtuurilla toteutetun prosessorin käskykanta on suppea mutta mahdollisimman nopeaksi optimoitu. Lisäksi RISC-prosessoreissa on vain muutama erilainen osoitusmuoto. RISC-prosessoreissa on yleensä verrattain paljon yleiskäyttöisiä ja nopeita rekistereitä, mikä vähentää hitaampien muistien käyttötarvetta ja siten nopeuttaa prosessorin toimintaa. RISC-prosessoreista pyritäänkin tekemään mahdollisimman tehokkaita alhaiseen kellotaajuuteensa nähden. Täydellisen RISC-prosessorin CPI-arvo on tasan 1. CPI mittaa yhden käskyn suorittamiseen tarvittavien kellojaksojen määrää. Täydellinen RISC-prosessori suorittaa monimutkaisimmankin käskykantansa käskyn yhdessä kellojaksossa.

### 3.2.2 AVR:n käyttöönotto

ATMega8535 valittiin opastenäytön sulautetuksi mikrokontrolleriksi monesta syystä. ATMega8535 sisältää kahdeksan kilotavua Flash-muistia, 512 tavua EEPROM:ia sekä 512 tavua SRAM:ia (Atmel Corporation 2005, 1). Ohjelma-muistina käytettävää Flash-muistia tarvittiin vähintään neljä kilotavua, sillä yksinään AVR-USB vie tästä muistista jo kaksi kilotavua. Ohjelmamuistin lisäksi tarvitaan SRAM-tyyppistä datamuistia opastenäytön viestien säilömiseen. Flash-muistin lisäksi AVR-USB vaatii, että mikrokontrolleri toimii vähintään 12 MHz kellotaajuudella. ATMega8535 voidaan kellottaa toimimaan ulkoisen kiteen tai oskillaattorin avulla korkeintaan 16 MHz taajuudella (Atmel Corporation 2005, 25). Opastenäytössä käytettiin 12 MHz taajuudella värähtelevää kidettä AVR-USB:n kellotaajuusvaatimuksen täyttämiseksi.



Opastenäytön mikrokontrollerissa täytyi olla tuki kahdelle ulkoiselle keskeytykselle. AVR-USB tarvitsee yhden keskeytyksen USB:n toiminnallisuutta varten ja reaaliaikakellopiiri tarvitsee keskeytyksen ajastetun kellonajan hälytystä varten. ATmega8535 tukee kolmea ulkoista keskeytystä, joka riitti hyvin tähän työhön (Atmel Corporation 2005, 67). Opastenäyttöön valittu reaaliaikakellopiiri kommunikoi mikrokontrollerin kanssa I<sup>2</sup>C-väylän avulla. ATmega8535 tukee TWI- eli Two-wire Serial Interface -väylää (Atmel Corporation 2005, 172). Jotkut valmistajat käyttävät TWI nimitystä I<sup>2</sup>C:stä, joten TWI tarkoittaa käytännössä samaa väyläteknikkaa kuin I<sup>2</sup>C. Tämä mahdollistaa reaaliaikakellopiirin kanssa kommunikoinnin TWI-väylän avulla.

Opastenäytön mikrokontrollerilta vaadittiin vähintään 12 ohjelmoitavaa I/O-linjaa. Nestekidenäytön ohjaukseen tarvitaan 11 I/O-linjaa ja painonappi tarvitsee yhden. ATmega8535:ssä on 32 ohjelmoitavaa I/O-linjaa, joista osassa on kiinteitä, vaihtoehtoisia toimintoja (Atmel Corporation 2005, 50). Näihin vaihtoehtoihin toimintoihin kuuluvat muun muassa edellä mainitut ulkoiset keskeytykset sekä TWI-väylä (Atmel Corporation 2005, 61-64).

ATmega8535 täytti kaikki opastenäytön mikrokontrollerin vaatimukset. ATmega8535 valittiin myös siksi, että se oli valintahetkellä yksi tehokkaimmista AVR-mikrokontrollereista, jota valmistetaan DIP- eli Dual In-line Package -tyyppisessä pakkauksessa. Läpijuotettavan DIP-pakkauksen pinnit ovat selvästi toisistaan erillään, mikä helpottaa komponentin juottamista käsin. Atmel valmistaa AVR-mikrokontrollereita myös muilla, paremmin teolliseen tuotantoon sopivilla pakkaustekniikoilla. DIP on vanha pakkaustekniikka, joka on nykyään lähes pelkästään elektroniikkaharrastajien käytössä. Teollisessa massatuotannossa on siirrytty tiiviimmin pakattuihin pintaliitostekniikoihin, jotka säästävät tilaa piirilevyllä ja vähentävät turhien läpivientien määrää. Tämä on heikentänyt läpijuotettavien komponenttien tarjontaa, mikä täytyi ottaa huomioon opastenäytön komponentteja valittaessa. Hyvin tiiviisti pakattuja pintaliitoskomponentteja on lähes mahdotonta juottaa käsin piirilevyille. Atmel onkin elektroniikkaharrastajien suosiossa, sillä se valmistaa monia mikrokontrollereita vielä DIP-tekniikalla modernimpien pakkaustekniikoiden lisäksi.

### 3.3 Reaaliaikakellopiirin toiminta

Reaaliaikakellopiiri on tärkeä komponentti opastenäytön ajastettujen toimintojen kannalta. Sen avulla opastenäytön mikrokontrolleri voi ajastaa itselleen hälytyksiä ja tarkistaa kellonajan sekä päivämäärän. Opastenäyttö voidaan ohjelmoida niin, että nestekidenäytöllä näkyy normaalien viestien lisäksi kellonaika ja päivämäärä. Lisäksi reaaliaikakellopiirin avulla voidaan toteuttaa erilaisia dynaamisia viestejä, jotka muuttuvat ajan myötä. Tällaisia viestejä voivat olla esimerkiksi ”Palaan kohta”-viestit, joihin käyttäjä on ohjelmoinut tietyn poissaoloajan. Kun käyttäjä on ohjelmoinut opastenäytölle poissaolon esimerkiksi kello 12 asti, mikrokontrolleri laskee reaaliaikakellopiirin nykyisen ajankohdan avulla, paljonko aikaa kyseiseen ajankohtaan on. Jos kello oli poissaolon syöttämisen hetkellä esimerkiksi 11.32, mikrokontrolleri tulostaa näytölle automaattisesti tekstin ”Palaan 28 minuutin päästä”. Opastenäytön mikrokontrolleri voi päivittää kyseistä viestiä automaattisesti niin, että viestissä näkyvä aika pienenee jatkuvasti.

Opastenäytön perusvaatimuksissa määriteltiin, että näytölle täytyy voida ajastaa reaaliaikakellopiirin avulla käyttäjän ennalta määrittelemiä staattisia viestejä. Kuten edellä mainittu dynaamisen viestin esimerkki osoittaa, sopivalla mikrokontrollerin ohjelmoinnilla reaaliaikakellopiirillä voidaan toteuttaa monenlaisia muitakin kellonaikaan ja päivämäärään liittyviä sovelluksia kuin mitä perusvaatimuksissa oli määritelty. Laajan ohjelmoitavuutensa ansiosta opastenäytön toiminnasta voidaan tehdä juuri niin monipuolista tai yksinkertaista, kuin käyttäjä haluaa.

Opastenäytön reaaliaikakellopiiriksi valittiin yhdysvaltalaisen Maxim Integrated Products:n valmistama DS1337. DS1337 on sekunnin tarkkuudella toimiva reaaliaikakellopiiri, joka laskee sekunteja, minutteja, tunteja, viikonpäiviä, päiviä kuukaudessa, kuukausia sekä vuosia. DS1337 ottaa automaattisesti huomioon 31 päivää lyhyemmät kuukaudet sekä karkausvuodet. DS1337 laskee käyttäjän valinnan perusteella kellonaikaa joko 12- tai 24-tuntisessa muodossa. DS1337:än voidaan ohjelmoida kaksi hälytysajankohtaa. DS1337 kommunikoi prosessorin kanssa I<sup>2</sup>C-sarjaväylän avulla. (Maxim Integrated Products 2006, 1.)

Opastenäytön reaaliaikakellopiiriksi harkittiin aluksi National Semiconductorin DP8573A:ta. Kyseinen reaaliaikakellopiiri käyttää kuitenkin rinnakkaistyypisiä data- ja osoiteväyliä, joten sitä ei otettu käyttöön. DP8573A:ssa on 8-bittinen dataväylä sekä 5-bittinen osoiteväylä. Lisäksi DP8573A tarvitsee kolme erillistä ohjaussignaalia sekä yhden keskeytyssignaalin. (National Semiconductor Corporation 1993, 4.)

DP8573A tarvitsee rinnakkaisväyliensä takia yhteensä 17 signaalilinjaa prosessorin kanssa kommunikointiin. Maxim DS1337 tarvitsee I<sup>2</sup>C-sarjaväylänsä ansiosta minimissään kolme signaalilinjaa prosessorin kanssa kommunikointiin: I<sup>2</sup>C-väylän data- ja tahdistussignaalin sekä yhden tai kaksi keskeytyssignaalia hälytysajankohtia varten (Maxim Integrated Products 2006, 5). I<sup>2</sup>C-väylää käyttävä DS1337 tarvitsee siis jopa 14 signaalilinjaa vähemmän kuin perinteisiä rinnakkaisväyliä käyttävä DP8573A. Tämä helpottaa selkeästi opastenäytön piirilevyn suunnittelua, ja lisäksi mikrokontrollerissa säästyy huomattavasti I/O-linjoja muuhun käyttöön. Opastenäytössä käytettiin ainoastaan yhtä hälytysajankohdan keskeytystä, sillä opastenäytön mikrokontrolleri hallinnoi hälytysajankohtia jonotusperiaatteella ja se lähettää reaaliaikakellopiirille ainoastaan seuraavaksi ajastetun ajankohdan hälytyspyynnön. Näin opastenäyttöön voidaan ohjelmoida useita hälytysaikoja, vaikka DS1337-reaaliaikakellopiiri ei tuekaan kuin kahta yhtäaikaista ajastusta.

DS1337 tarvitsee ulkoisen 32,768 kHz kellokiteen toimiakseen, mutta DS1337:stä on olemassa myös C-malli, jossa on sisäänrakennettu kellokide (Maxim Integrated Products 2006, 6-7). DS1337C:tä valmistetaan ainoastaan pintaliitospakkauksessa, mutta tavallista DS1337:ä valmistetaan myös läpijuotettavassa DIP-pakkauksessa (Maxim Integrated Products 2006, 1). Opastenäyttöön valittiin tavallinen, DIP-paketoitu DS1337, jonka kanssa käytettiin ulkoista kideä. Myös kiteen sisältävää DS1337C:tä olisi voitu käyttää, mutta koska ulkoisen kiteen käyttö ei haitannut, päädyttiin helpommin piirilevylle juotettavaan malliin.

DS1337:ssä ei ole sisäänrakennettua paristovarmennusta kuten joissain reaaliaikakellopiireissä. Täten DS1337 hävittää kellonajan ja päivämäärän, kun opastenäytöstä katkaistaan käyttöjännite. Jotta paristovarmennuksesta olisi ollut

todellista hyötyä, myös mikrokontrollerin toiminta olisi pitänyt varmentaa. Muutoin käyttöjännitteen katketessa mikrokontrolleri hävittää ajastetut viestit ja opastenäyttö ei toimi oikein, vaikka reaaliaikakellopiiri olisi varmennettu. 5 voltin käyttöjännitteellä toimiva laite tarvitsee kolme 1,5 voltin sormiparistoa toimiakseen. Kolmen sormipariston lisääminen opastenäyttöön olisi kasvattanut laitteen fyysistä kokoa huomattavasti, eikä paristovarmennusta vaadittu opinto-ohjaaja Veijalaisen perusvaatimuksissa, joten paristovarmennusta ei otettu käyttöön. Koska reaaliaikakelloa ei ole varmennettu, se täytyy asettaa aikaan aina, kun opastenäyttö käynnistetään. Reaaliaikakellopiiri voidaan asettaa aikaan ohjelmallisesti isäntätietokoneelta käsin. Isäntätietokone lähettää USB:n avulla mikrokontrollerille kellonajan ja päivämäärän. Tämän jälkeen mikrokontrolleri lähettää kyseisen tiedon reaaliaikakellopiirille, jolloin uusi kellonaika ja päivämäärä astuvat voimaan.

### 3.4 Nestekidenäytön toiminta

Opastenäytön suurin ja näkyvin osa on sen varsinainen näyttö. Näytön täytyi olla pienikokoinen ja ennen kaikkea ohut, jotta valmis opastenäyttö voitaisiin järkevästi sijoittaa seinälle, oven viereen. Tästä syystä näytön tuli olla toteutettu nestekidetekniikalla. LCD:t eli nestekidenäytöt ovat riittävän halpoja ja ohuita tässä opinnäytetyössä rakennettua laitetta varten. Opinto-ohjaaja Veijalaisen määrittelemissä vaatimuksissa määriteltiin ainoastaan, että näytölle täytyy pystyä kirjoittamaan lyhyitä, muutaman sanan viestejä. Tällaiseen tarkoitukseen olisi riittänyt minimissään kahden tekstirivin alfanumeerinen nestekidenäyttö, joka pystyy näyttämään 16 merkkiä molemmalla rivillä. Opastenäyttöön haluttiin kuitenkin mahdollisimman suuri näyttö, jotta opastenäyttö olisi mahdollisimman monikäyttöinen.

Opastenäyttöön valittiin kiinalaisen Hebei Gem-Tech Electronics:n valmistama GTC-20041 -nestekidenäyttö. GTC-20041 on nelirivinen ja alfanumerinen nestekidenäyttö, joka pystyy näyttämään 20 merkkiä jokaisella rivillä. GTC-20041 käyttää mikrokontrollerin kanssa kommunikointiin rinnakkaista, 8-bittistä dataväylää sekä kolmea ohjaussignaalia. (Hebei Gem-Tech Electronics Co., Ltd. 2003, 2.)

Alfanumeerisella näytöllä tarkoitetaan näyttöä, joka pystyy esittämään latinalaiset aakkoset sekä arabialaiset numerot. Opastenäytön nestekidenäyttöä käytetään lähinnä tavanomaisten alfanumeeristen merkkien näyttämiseen, sillä opastenäytölle syötetyt viestit koostuvat lähes pelkästään niistä. Kokonaisuudessaan GTC-20041 pystyy esittämään suuret ja pienet latinalaiset aakkoset, arabialaiset numerot, suuret ja pienet japanilaiset katakana-aakkoset sekä muutamia matemaattisia symboleja ja muita erikoismerkkejä (Hebei Gem-Tech Electronics Co., Ltd. 2003, 16). GTC-20041 muodostaa jokaisen esitettävän merkin 5x7-pistematriisin avulla (Hebei Gem-Tech Electronics Co., Ltd. 2003, 16).

### 3.5 Painonapin toiminta

Laiteparin USB-tyyppinen sarjaväylä toimii kaksisuuntaisesti, eli sekä opastenäytön mikrokontrolleri että isäntätietokone voivat lähettää toisilleen dataa. Kuitenkin käytännössä USB:llä kulkeva data on lähes pelkästään isäntätietokoneen mikrokontrollerille lähettämää ohjausdataa. Opastenäyttöön liitetyn painonapin toiminta muodostaa tähän sääntöön poikkeuksen. Kun käyttäjä painaa nappia, mikrokontrolleri havaitsee sen ja lähettää tiedon napin painamisesta isäntätietokoneelle. Jos isäntätietokone ei ole kytketty opastenäyttöön, napin painamisesta ei oletuksellisesti tapahdu mitään. Mikrokontrollerin ohjelmointiin voidaan kuitenkin lisätä tähänkin tilanteeseen jokin toiminto. Mikrokontrolleri voi esimerkiksi näyttää käyttäjälle jonkin ennalta määritellyn viestin opastenäytön nestekidenäytöllä. Myös isäntätietokoneella näkyvä ilmoitus napin painamisesta pitää toteuttaa ohjelmallisesti.

Painonapin on tarkoitus toimia ovikellon tavoin, kuten perinteisessä odotusvalosysteemissä. Opastenäytön painonappia painamalla oven ulkopuolella odottava henkilö voi ilmaista pyrkivänsä sisään. Käytännössä painonapin painaminen ainoastaan ilmaisee opastenäytön mikrokontrollerille, että nappia on painettu. Napin painamisesta aiheutuva toiminta riippuu täysin mikrokontrollerin ohjelmoinnista. Täten opastenäytön painonappiin voidaan liittää muitakin sovelluksia kuin edellä mainittu ovikellon tapainen toiminta. Esimerkkisovelluksia ovat muun muassa

päivämäärän ja kellonajan näyttäminen nestekidenäytöllä muutaman sekunnin ajan tai muiden mikrokontrollerin muistissa olevien viestien selaaminen.

## 4 LAITTEEN SUUNNITTELU

### 4.1 Suunnittelun lähtökohdat

Opastenäyttö suunniteltiin ja toteutettiin kokonaisuudessaan Lahden ammattikorkeakoulun Tekniikan laitoksen resursseilla. Tästä johtuen opastenäytön suunnittelu- ja toteutusvaiheessa täytyi ottaa huomioon tiettyjä rajoituksia. Opastenäyttöön valittujen komponenttien täytyi olla helppo juottaa piirilevyille, koska Tekniikan laitoksella ei ollut käytettävissä juotoskoneita, jotka pystyvät juottamaan piirilevyille monimutkaisesti ja tiheään paketoituja komponentteja. Koska käytössä oli ainoastaan käsikäyttöinen juotoskolvi, opastenäyttöön valittujen komponenttien täytyi olla yksinkertaisesti paketoituja. Tämä rajoitti ennen kaikkea opastenäytön mikrokontrollerin valintaa. Yksinkertaisesti ja väljästi paketoitujen prosessoreiden tarjonta heikkenee jatkuvasti niiden kysynnän pienentyessä. Tämä johtuu siitä, että massateollisuudessa käytetään mahdollisimman moderneja ja entistä tiiviimmin paketoituja komponentteja. Koska yksinkertaisesti paketoituja prosessoreita ei enää käytetä massateollisuudessa, niiden markkinat ovat pienentyneet murtoosaan. Modernit, tiiviisti paketoituvat komponentit vaativat usein myös monikerroksisia piirilevyjä.

Opastenäytön piirilevyn suunnittelu asetti myös tiettyjä rajoituksia, sillä Tekniikan laitoksella ei voitu valmistaa piirilevyjä. Tämän takia opastenäytön piirilevy valmistettiin Koulutuskeskus Salpauksen tiloissa. Koulutuskeskus Salpaus omistaa yksinkertaiset piirilevyjen valotus-, syövytys- sekä porauslaitteet, joilla voidaan valmistaa yksittäisiä piirilevyjä. Piirilevyjen valmistus kyseisillä laitteilla on täysin manuaalista eikä niillä voida helposti valmistaa yli kaksikerroksisia piirilevyjä. Tästä johtuen opastenäytön piirilevystä pyrittiin suunnittelemaan korkeintaan kaksikerroksinen.

Opastenäytön passiivisiksi komponenteiksi valittiin SMD-tekniikalla toteutettuja komponentteja läpijuotettavien komponenttien sijaan. SMD- eli Surface Mount Device -nimitystä käytetään kaikista pintaliitoskomponenteista, jotka nimensä mukaisesti juotetaan piirilevyn pintaan kiinni. Vaikka SMD-vastukset sekä -kondensaattorit ovat hyvin pieniä pintaliitoskomponentteja, ne voidaan silti juottaa piirilevylle juotoskolvilla käsittelemällä niitä esimerkiksi pinseteillä. Pintaliitostekniikalla toteutettujen passiivisten komponenttien käyttö vähentää piirilevyn porauksen tarvetta verrattuna vanhanaikaisten, läpijuotettavien komponenttien käyttöön. En ollut juurikaan käyttänyt passiivisia pintaliitoskomponentteja aiemmissa elektroniikkaprojekteissa, joten opastenäyttö tarjosi hyvän mahdollisuuden niihin tutustumiseen.

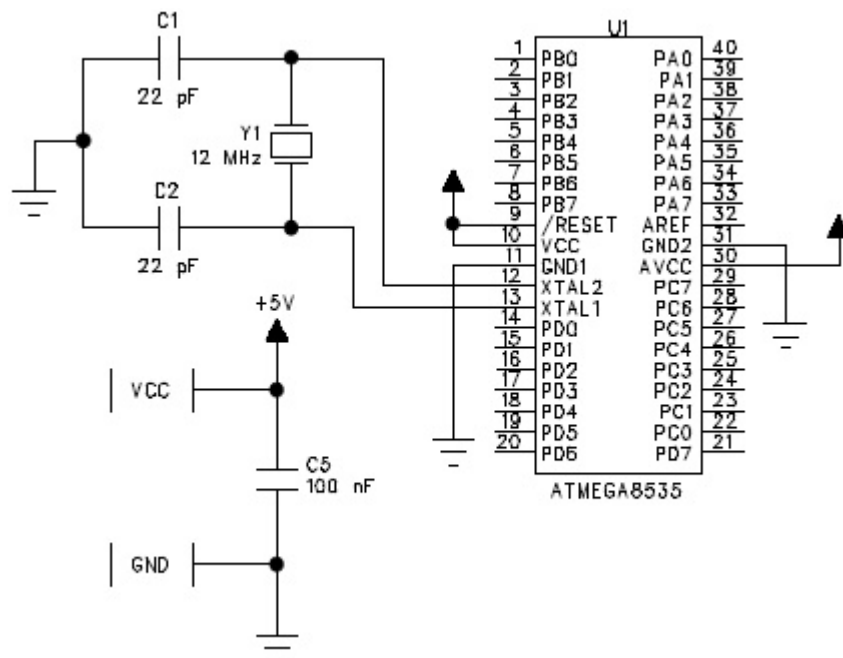
#### 4.2 Kytkennän suunnittelu

Opastenäytön kytkennän suunnittelussa käytettiin yhdysvaltalaisen Mentor Graphics:n PowerLogic 5.0.1 -ohjelmaa. PowerLogic on ammattikäyttöön tarkoitettu elektroniikkalaitteiden suunnitteluohjelma, jonka nimi on uudempien versioiden myötä vaihtunut PADS Logic:ksi.

Opastenäytön ensimmäisen version täydellinen kytkentäkaavio on liitteessä 1 ja kytkennän osalista liitteessä 2. Opastenäytön ensimmäinen versio toteutettiin kokonaisuudessaan, mutta se sisälsi joitakin virheitä. Etenkin USB-liittimen kytkentä oli virheellinen, eikä USB:n toimintaa voitu sen takia testata. Opastenäytöstä tehtiin jälkepäin toinen versio, jossa korjattiin ensimmäisessä versiossa havaittuja virheitä. Toisen version täydellinen kytkentäkaavio on liitteessä 3 ja kytkennän osalista liitteessä 4. Opastenäytön toista versiota ei kuitenkaan toteutettu projektin ajan puutteen vuoksi.

#### 4.2.1 Mikrokontrollerin kytkentä

Opastenäytön kytkennän suunnittelu aloitettiin ATmega8535-mikrokontrollerista. Pakollisten käyttöjännite- ja maatasokytkentöjen jälkeen mikrokontrollerin nolla-aktiivinen RESET-pinni kytkettiin suoraan käyttöjännitteeseen, jotta mikrokontrolleri ei koskaan alusta toimintaansa kun se on käynnissä. Tämän jälkeen 12 MHz kide ja sen vaatimat kaksi 22 pF kondensaattoria kytkettiin mikrokontrollerin XTAL1- ja XTAL2-pinneihin. Lopuksi kytkentään lisättiin 100 nF suodatuskondensaattori, joka oli tarkoitus lisätä piirilevyllä mikrokontrollerin käyttöjännitepinnien viereen. Tässä vaiheessa mikrokontrollerin peruskytkentä näytti kuvion 4 mukaiselta.



KUVIO 4. Mikrokontrollerin peruskytkentä

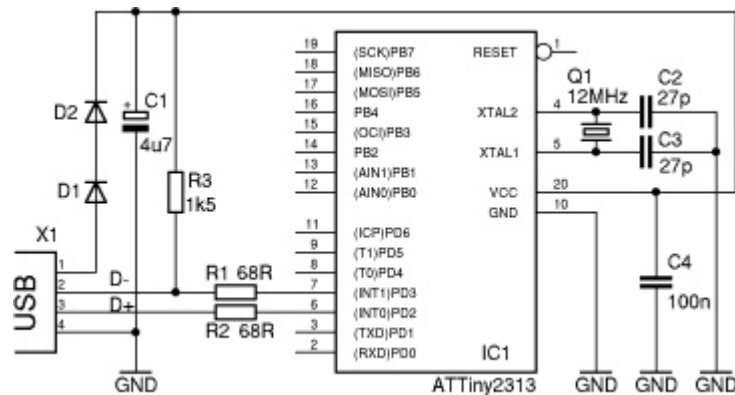
Opastenäytön toisessa versiossa 12 MHz kide korvattiin ulkoisesti samanlaisella, mutta nopeammalla, 16 MHz kiteellä. Muilta osin mikrokontrollerin peruskytkentä säilyi samana. Mikrokontrolleriin haluttiin kytkeä nopeampi kide, jotta USB:n ohjelmallinen käsittely helpottuisi. USB-datan käsittely AVR-USB -firmwaren avulla vaatii paljon laskentatehoa mikrokontrollerilta. Kun mikrokontrollerin



kellotaajuus on suurempi, laskentatehoa riittää paremmin muuhunkin kuin USB-datan käsittelyyn.

#### 4.2.2 USB-liittimen kytkentä

Kun mikrokontrollerin toiminnan kannalta pakolliset pinnit oli kytketty, siirryttiin USB-liittimen kytkentään. USB-liittimen kytkennässä otettiin mallia AVR-USB:n verkkosivuilta löytyneestä esimerkkikytkennästä, joka on kuviossa 5. Lisäksi USB:n kytkennän ohjeita luettiin Universal Serial Bus Specification Revision 1.1 -datalehdessä.



KUVIO 5. USB-liittimen esimerkkikytkentä ATTiny2313-mikrokontrolleriin (Objective Development Software GmbH 2007)

Oheisessa USB:n esimerkkikytkennässä on käytetty 3,3 V käyttöjännitteellä toimivaa mikrokontrolleria, joten kytkentää täytyi soveltaa, jotta se toimisi 5 V käyttöjännitettä käyttävässä opastenäytössä. Kytkentä aloitettiin liittämällä USB:n datasignaaleit D- ja D+ mikrokontrollerin PD0- ja PD1-pinneihin. D+ -signaali liitettiin lisäksi PD2-pinniin, joka toimii AVR-USB:n tarvitsemana ulkoisena INT0-keskeytyksenä. Datasignaaleihin D- ja D+ lisättiin 68 Ω sarjavastukset, jotka toimivat USB-väylän impedanssisovittimina. D+ -signaaliin lisättiin 1 MΩ ylösvetovastus, jotta kyseinen datasignaali ei jää kelluvaan tilaan, kun

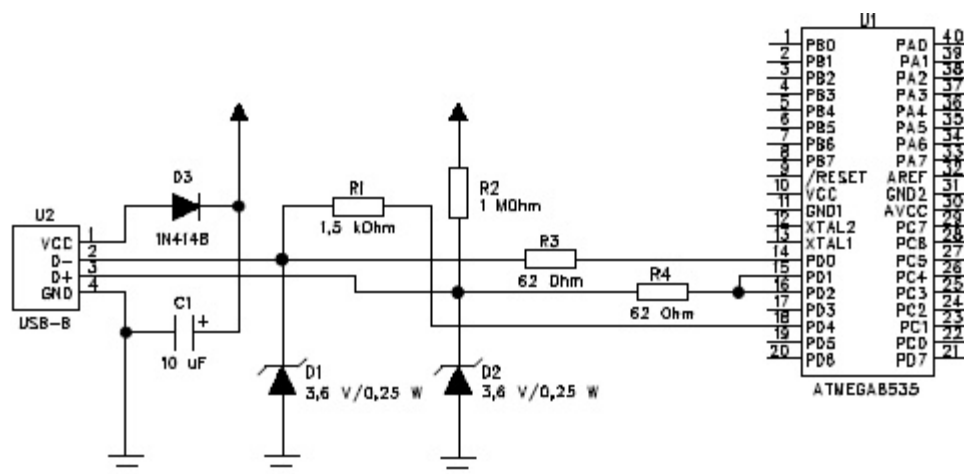


oheislaitteeseen. Tällöin AVR-USB:n koodissa määritetään, että kyseessä on self powered -tyyppinen oheislaite. Koodissa määritetään myös max bus power -arvo, joka tarkoittaa isäntälaitteen USB Hubin antaman virran maksimiarvoa milliampeereina. Self powered -tyyppisessä opastenäytössä max bus power voidaan asettaa hyvin pieneksi. Jos USB:n virransyöttö rajoitetaan esimerkiksi 20 milliampeeriin, opastenäyttö ottaa käytännössä kaiken tarvitsemansa virran muuntajalta eikä USB Hubilta. Tässä tapauksessa USB:n ja muuntajan käyttöjännitteet voidaan yhdistää ongelmitta.

Opastenäytön toisen version kytkennässä korjattiin USB:n käyttöjännitteen kytkentä sekä muita kytkennässä huomattuja puutteita. USB:n antama käyttöjännite kytkettiin diodin läpi opastenäytön käyttöjännitteeseen. Koska opastenäyttö saa käyttöjännitteensä erillisestä lähteestä, diodi estää opastenäyttöä syöttämästä virtaa USB-kaapelin kautta isäntätietokoneelle. USB:n käyttöjännitekytkentään lisättiin myös 10  $\mu$ F elektrolyyttikondensaattori poistamaan USB-kaapelin kytkemisestä ja irrottamisesta johtuvia syöksyvirtoja (Compaq ym. 1998, 140). USB:n kytkennän toinen versio on kuviossa 7.

Opastenäytön toisessa versiossa D- -datasiignaaliin kytketty 1,5 k $\Omega$  ylösvetovastus kytkettiin käyttöjännitteen sijasta mikrokontrollerin PD4-pinniin. PD4 on AVR-USB -firmwaressa määritelty ulostulopinni, joka säätelee USB-yhteyden kytkentää. Kun USB-yhteys kytketään opastenäyttöön, mikrokontrolleri syöttää jännitettä PD4-pinnistä, jolloin vastuskytkentä toimii kuten USB:n vaatima ylös veto. Kun USB-yhteys halutaan katkaista, mikrokontrolleri lopettaa jännitteen syötön PD4-pinnistä, jolloin ylös vetokytkentä häviää.

Opastenäytön toisessa versiossa huomattiin, että jos USB:tä käytetään 5 V käyttöjännitteellä toimivan AVR-mikrokontrollerin kanssa, täytyy USB:n datasiignaaleihin lisätä 3,6 V zeneriodit rajoittamaan kyseisten signaalien jännitteitä (Objective Development Software GmbH 2007).



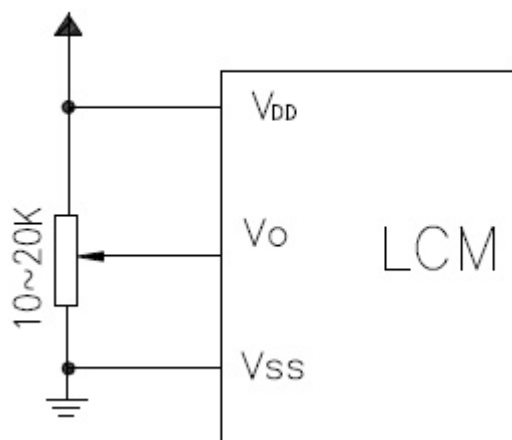
KUVIO 7. USB:n kytkennän toinen versio

#### 4.2.3 Nestekidenäytön kytkentä

USB:n kytkennän jälkeen mikrokontrolleriin kytkettiin nestekidenäyttö. Hebei Gem-Tech Electronics:n valmistamassa GTC-20041 -nestekidenäytössä on 14 kytkettävää pinniä. Niihin kuuluvat 8 datapinniä (DB0 - DB7), 3 datan ohjauspinniä (RS, R/W ja E), kontrastinsäätöpinni (V<sub>O</sub>), käyttöjännitepinni (V<sub>DD</sub>) sekä maatasopinni (V<sub>SS</sub>). GTC-20041 -nestekidenäytölle voi syöttää korkeintaan 7 V jännitettä, joten se sopi hyvin 5 V jännitteellä toimivaan ympäristöön. (Hebei Gem-Tech Electronics Co., Ltd 2003, 3.)

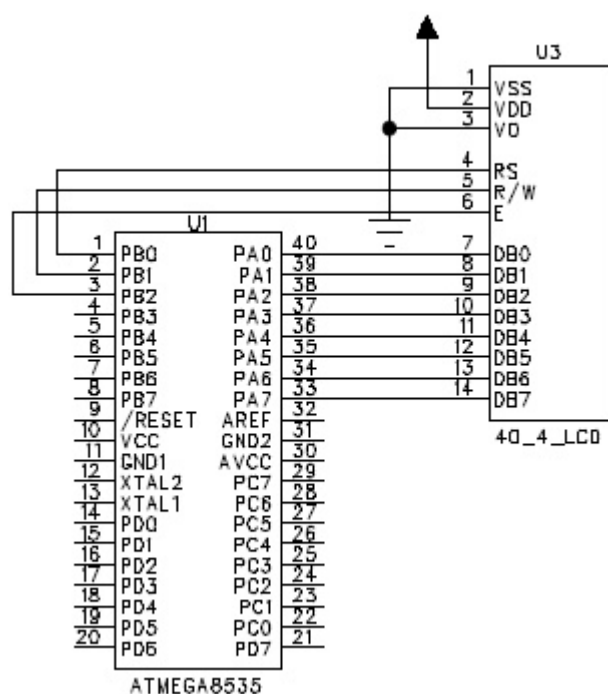
GTC-20041:n datalehdessä ei kerrottu riittävän tarkasti kontrastinsäätöpinnin toiminnasta. Ainoa viittaus siihen oli yksinkertaisessa kuvassa, joka on kuviossa 8. Kyseisessä kuvassa on kytketty 10-20 kΩ säätövastus kontrastinsäätöpinniin käyttöjännitteen ja maatason välille. Koska kontrastinsäätöpinnin toiminnasta ei ollut täyttä varmuutta, se päätettiin kokeilla testikytkennällä. Testikytkentä rakennettiin kuviossa 8 esitellyn kytkennän tavoin. Testauksessa havaittiin, että näytön kontrasti oli sitä suurempi, mitä vähemmän kontrastinsäätöpinniin syötettiin jännitettä. Lopulta havaittiin, että näytön kontrasti oli paras, kun kontrastinsäätöpinni kytkettiin suoraan maatasoon ilman vastusta.

## 1-5 POWER SUPPLY CIRCUIT AND CONTRAST ADJUST



KUVIO 8. Nestekidenäytön kontrastisäätö (Hebei Gem-Tech Electronics Co., Ltd 2003, 3)

GTC-20041:n 8-bittinen, rinnakkainen dataväylä kytkettiin suoraan mikrokontrollerin A-portin jokaiseen kahdeksaan I/O-pinniin. GTC-20041:n kolme datan ohjauspinniä kytkettiin käänteisesti mikrokontrollerin B-portin kolmeen ensimmäiseen I/O-pinniin. Käänteisellä ohjauspinnien kytkennällä haluttiin yksinkertaistaa nestekidenäytön signaalireititystä piirilevysuunnitteluvaiheessa. Nestekidenäytön kytkentä on kuviossa 9.

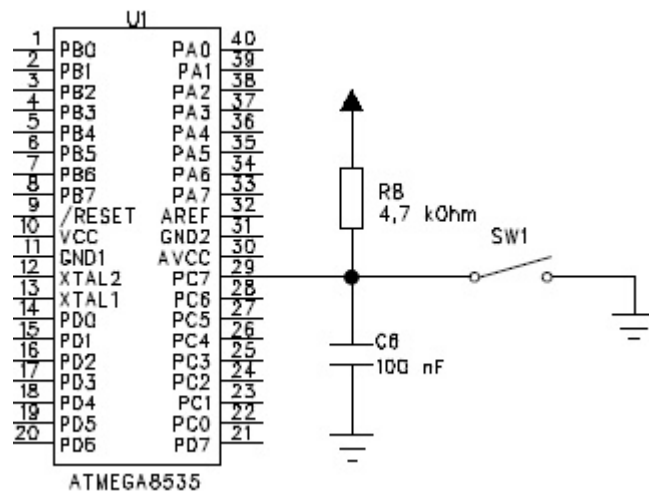


KUVIO 9. Nestekidenäytön kytkentä

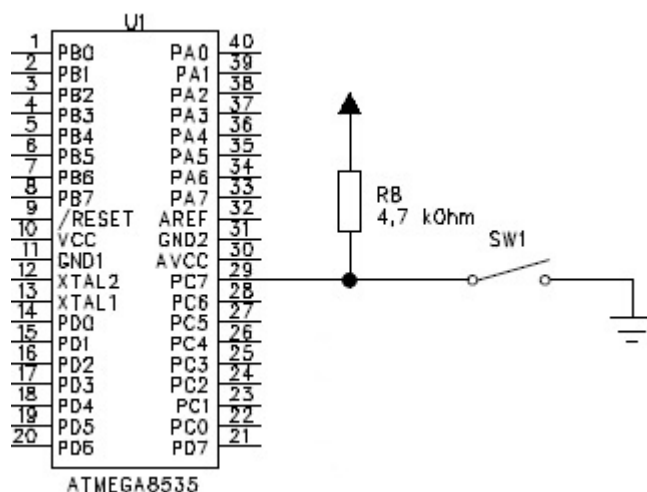
#### 4.2.4 Painonapin kytkentä

Painonapin toiminnasta haluttiin tehdä nolla-aktiivinen, eli kun käyttäjä painaa nappia, painonapin kytkentä lähettää mikrokontrollerille nolla-signaalin. Vastavasti kun nappia ei paineta, mikrokontrollerille välittyy ykköstä vastaava signaali. Painonapin kytkentä liitettiin yhteen C-portin ohjelmoitavaan I/O-pinniin. Painonapin painamiseen reagointi on siten täysin mikrokontrollerin ohjelmoinnin vastuulla eikä napin painaminen aiheuta ulkoista keskeytystä.

Kun painonappia ei paineta, I/O-pinniin välittyy 5 V käyttöjännite 4,7 k $\Omega$  ylösvevostuksen kautta. Kun nappia painetaan, I/O-pinni kytkeytyy suoraan maatasoon. Opastenäytön ensimmäisessä versiossa painonapin kytkentään lisättiin 100 nF kondensaattori poistamaan painonapin kytkinvärähtelyitä. Toisessa versiossa kyseinen kondensaattori kuitenkin poistettiin tarpeettomana, sillä mikrokontrollerin reagointi napin painamiseen ei ole reunaherkkää, joten kytkinvärähtelyt eivät vaikuta opastenäytön toimintaan. Painonapin ensimmäinen kytkentä on kuviossa 10 ja toinen kytkentä kuviossa 11.



KUVIO 10. Painonapin ensimmäinen kytkentä



KUVIO 11. Painonapin toinen kytkentä

#### 4.2.5 Reaaliaikakellopiirin kytkentä

Maxim DS1337 -reaaliaikakellopiirin kytkentä suunniteltiin viimeisenä.

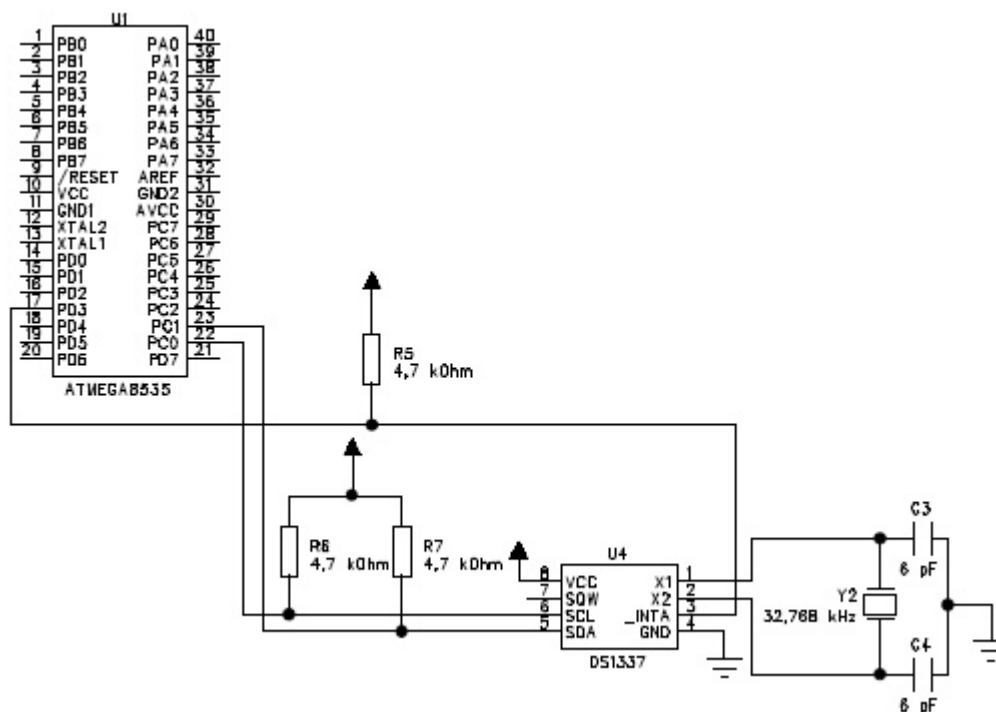
DS1337:n ensimmäinen kytkentä on kuviossa 12 ja toinen kytkentä kuviossa 13.

DS1337:n kytkentä oli hyvin yksinkertainen I<sup>2</sup>C-väylän ansiosta, ja se käsitti ainoastaan viisi signaalia käyttöjännite- ja maatasopinnan lisäksi. DS1337:n kytkentä aloitettiin kellokitekistä. X1- ja X2-pinnit kytkettiin 32,768 kHz kiteeseen (Maxim Integrated Products 2006, 5). Opastenahtöns ensimmäisessä versiossa kiteen kytkentään lisättiin 6 pF kondensaattorit, jotka ovat yhteydessä maatasoon. Toisessa versiossa kondensaattorit kuitenkin poistettiin, koska DS1337:n ulkoinen kide ei normaalista poiketen tarvitse erillisiä kondensaattoreita toimiakseen (Maxim Integrated Products 2006, 6).

Kellokiteen jälkeen kytkettiin DS1337:n I<sup>2</sup>C-väylä mikrokontrolleriin. SDA eli Serial Data on kaksisuuntainen datasiignaali, jossa kulkee kaikki I<sup>2</sup>C-väylän sarjatuotoinen data ja SCL eli Serial Clock on kelloksiignaali, joka tahdistaa sarjatuotannon vastaanoton (Maxim Integrated Products 2006, 5). Kyseiset DS1337:n pinnit kytkettiin mikrokontrollerissa PC0- ja PC1-pinneihin, jotka toimivat SCL- ja SDA-pinneinä (Atmel Corporation 2005, 62). Molempiin signaaleihin lisättiin I<sup>2</sup>C-väylän vaatimat ylösvetovastukset (Atmel Corporation 2005, 172).

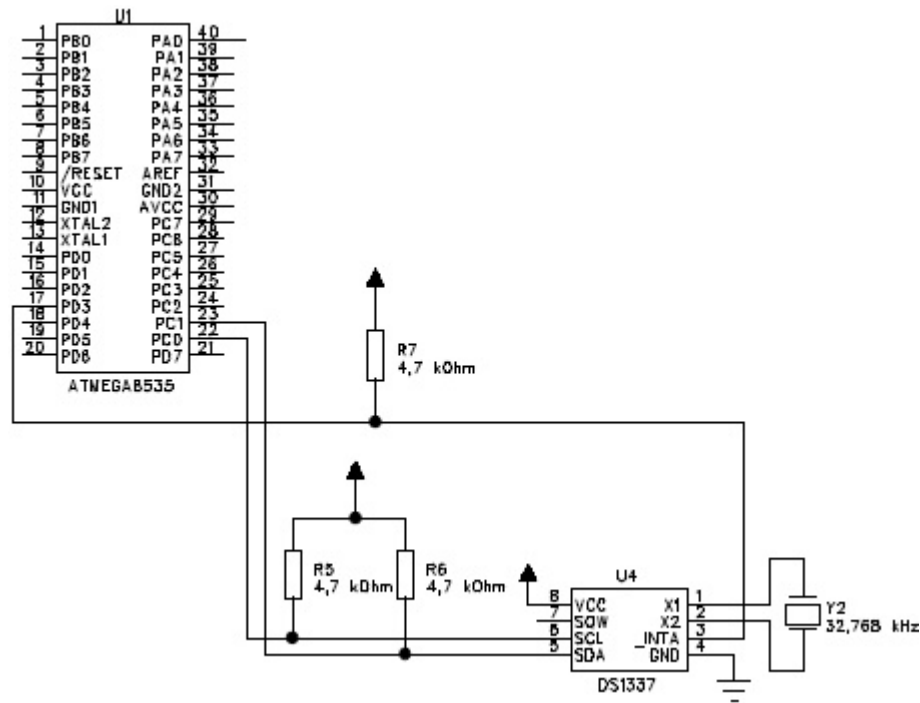
DS1337:n INTA-pinni lähettää hälytyssignaalin aina, kun reaaliaikakellopiiriin ajastettu ajankohta tulee (Maxim Integrated Products 2006, 5). INTA-pinni kytkettiin mikrokontrollerin PD3-pinniin, joka toimii ulkoisen keskeytyksen vastaanottavana INT1-pinninä (Atmel Corporation 2005, 64). Kun INTA-pinnin lähettämä signaali aiheuttaa ulkoisen keskeytyksen, mikrokontrolleri tietää, että ajastettu hälytysaika on käsillä. INTA-signaaliin kytkettiin myös vaadittu ylösvetovastus (Maxim Integrated Products 2006, 5).

DS1337:n SQW/INTB eli Square-Wave/Interrupt on lähtevä signaali, jota ei kytketty lainkaan. SQW/INTB on kaksitoiminen signaali, kuten sen nimestä voi päätellä. SQW/INTB-signaalin toimintaa voidaan hallita käsittelemällä DS1337:n ohjausrekisteriä. Square-Wave -tilassa SQW/INTB lähettää tietyn taajuista kanttiaaltosignaalia. Kanttiaallon taajuus voidaan valita neljästä vaihtoehdosta: 1 Hz; 4,096 kHz; 8,192 kHz sekä 32,768 kHz. Interrupt-tilassa SQW/INTB lähettää hälytyssignaalin, kun ajastettu ajankohta tulee. Koska kumpaakaan toimintoa ei tarvittu opastenyössä, SQW/INTB-pinni jätettiin kytkemättä. (Maxim Integrated Products 2006, 10.)



KUVIO 12. Reaaliaikakellopiirin ensimmäinen kytkentä





KUVIO 13. Reaaliaikakellopiirin toinen kytkentä

#### 4.3 Piirilevyn suunnittelu

Opastenäytön piirilevyn suunnittelussa käytettiin Mentor Graphics:n PowerPCB 5.0.1 -ohjelmaa. PowerPCB on ammattikäyttöön tarkoitettu piirilevysuunnitteluohjelma, jonka nimi on uudempien versioiden myötä vaihtunut PADS Layout:ksi.

Opastenäytön piirilevystä suunniteltiin kytkentäkaavioiden tavoin kaksi versiota. Ensimmäisessä versiossa piirilevy oli yksipuolinen, mutta komponentit sijoiteltiin molemmille puolille siten, että läpijuotettavat komponentit ovat eri puolella kuin pintaliitoskomponentit. Toisessa versiossa piirilevystä suunniteltiin kaksipuolinen, mutta komponenttien sijoittelu pysyi samanlaisena. Opastenäytön ensimmäisen version piirilevyn syövytyskuva on liitteessä 5 ja osasijoittelukuvat liitteissä 6 ja 7. Vastaavasti opastenäytön toisen version piirilevyn syövytyskuvat ovat liitteissä 8 ja 9 sekä osasijoittelukuvat liitteissä 10 ja 11. Piirilevyn syövytyskuvat eivät ole liitteissä oikeassa mittakaavassa.

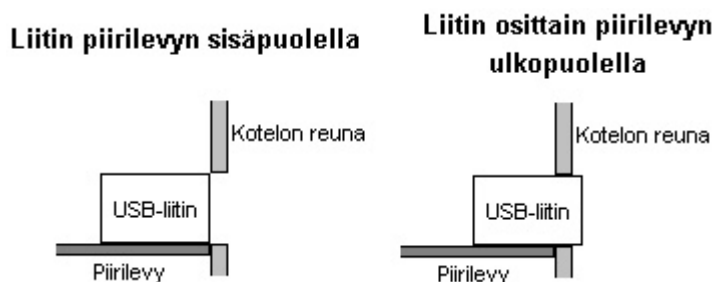
Opastenäytön rakenne suunniteltiin siten, että nestekidenäyttö asennetaan suoraan piirilevyn päälle. Piirilevyn ulkomitat päätettiin siksi ottaa suoraan nestekidenäytön mitoista. Tätä päätöstä tuki myös se tieto, että valmis piirilevy olisi joka tapauksessa ollut suunnilleen samassa mittaluokassa kuin nestekidenäyttö. Nestekidenäytön kaikki ulkomitat ilmoitettiin sen datalehdessä. Nestekidenäytön ulkomitat ovat liitteessä 12.

Opastenäytön koteloinnin helpottamiseksi piirilevyyn päätettiin tehdä samanlaiset porareiat kiinnitystä varten kuin nestekidenäytössä oli. Kun opastenäytön piirilevyssä ja nestekidenäytössä on samankokoiset reiät toisiaan vastaavissa kohdissa, voidaan kyseiset komponentit kiinnittää tukevasti päällekkäin esimerkiksi pulteilla. Nämä porareiat on nimetty opastenäytön piirilevyllä DRILL1:stä DRILL4:än. Pällekkäisestä asennuksesta johtuen myös nestekidenäyttöön kytkettävä signaalien liitinrivi piti sijoitella piirilevyllä nestekidenäyttöä vastaavaan kohtaan. Tämä liitinrivi on nimetty opastenäytön piirilevyllä U3:ksi.

Edellä mainitut komponentit ja ulkomitat pois lukien opastenäytön piirilevy voitiin suunnitella vapaasti. Komponenttien sijoittelu aloitettiin ATMega8535-mikrokontrollerista, joka oli piirilevyn tärkein ja suurin komponentti. Koska kaikki muut opastenäytön merkittävät komponentit yhdistettiin mikrokontrolleriin, päätettiin mikrokontrolleri sijoittaa keskelle piirilevyä, jotta muut komponentit voitiin sijoitella selkeille paikoille mikrokontrollerin ympärille. Opastenäytön painonapin liitin sekä virtaliittimet aseteltiin lähelle nestekidenäytön liitintä, jotta kaikki opastenäytön liittimet sijaitsisivat selkeästi piirilevyn yhdellä sivulla. 100 nF suodatuskondensaattori sijoitettiin aivan virtaliittimien viereen, jotta se suodattaisi opastenäytölle syötettävää käyttöjännitettä mahdollisimman tehokkaasti.

DS1337-reaaliaikakellopiiri aseteltiin piirilevyn oikeaan reunaan. Tällöin DS1337:n signaalien reititykset olivat mahdollisimman lyhyitä ja suoraviivaisia. Opastenäytössä käytetyt ulkoiset kiteet aseteltiin mahdollisimman lähelle niihin kytkettyjä komponentteja, jotta kellosignaalit pysyisivät mahdollisimman häiriöttöminä. USB-liitin ja sen kytkentään kuuluvat passiiviset komponentit sijoiteltiin piirilevyn oikeaan alakulmaan. USB-liitin aseteltiin siten, että se työntyi piirilevyn

reunan ulkopuolelle. Jos USB-liitin olisi aseteltu kokonaan piirilevyn sisäpuolelle, se olisi jäänyt syvennykseen opastenäytön kotelossa. Tällöin USB-kaapeli ei olisi saanut riittävää kontaktia USB-liittimeen. Kun USB-liitin työntyy hieman piirilevyn ulkopuolelle, se ei jää syvennykseen kotelossa. Molemmat tilanteet ovat esitelty kuviossa 14. Tilanteet ovat kuvattu laitteen sivulta katsottuna.



KUVIO 14. USB-liittimen sijoittelu kotelointia varten

Opastenäytön piirilevyn suunnittelussa ei käytetty lainkaan automaattireititystä, vaan kaikki signaalireititykset ja osasijoittelu suunniteltiin käsin. Automaattireititykseen olisi voitu käyttää Mentor Graphics:n BlazeRouter-ohjelmaa, mutta koska reititysten lukumäärä ei ollut suuri, päätettiin piirilevy suunnitella kokonaan manuaalisesti PowerPCB-ohjelmalla. Ainoana suunnitteluautomaattina käytettiin PowerPCB:n ominaisuutta, joka estää suunnitteluvirheitä käyttäjän määrittelemien suunnittelusääntöjen perusteella. Tällöin ohjelma antaa virheilmoituksen, mikäli osasijoittelu tai signaalireititys on sääntöjen vastainen.

Muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta piirilevysuunnittelussa käytettiin paksuja, 25 tuuman tuhannesosan levyisiä signaalireitityksiä. Tuuman tuhannesosan yksikkö on thou tai mil ja yksi millimetri vastaa noin 39,37 thoua. Leveiden signaalireititysten käyttö johtui siitä, että Koulutuskeskus Salpauksen piirilevyjen valmistuslaitteet eivät pystyneet kovin suureen tarkkuuteen. Täten leveillä signaalireitityksillä varmistettiin, etteivät ne katkea piirilevyä syövytettäessä. Leveiden reititysten käyttö aiheutti myös haittaa piirilevyn suunnittelussa, sillä leveitä reitityksiä ei voitu vetää komponenttien jalkojen välistä, vaan komponentit piti aina kiertää.

Koska piirilevyn ensimmäisestä versiosta tehtiin reitityksen osalta yksikerroksinen, siinä ei voitu käyttää signaalien läpivientejä. Tästä johtuen piirilevyn ensimmäiseen versioon jäi yksi hyppylanka. Tämä hyppylanka antaa käyttöjännitteen mikrokontrollerille ja nestekidenäytölle sekä vetää ylös mikrokontrollerin RESET-pinnin. Jos kyseistä hyppylankaa ei juoteta piirilevylle, ainoastaan reaaliaikakellopiiri käynnistyy, kun opastenäyttöön kytketään käyttöjännite. Hyppylangalla toisiinsa kytkettävät pinnit on yhdistetty ohuella viivalla opastenäytön osajoittelukuvassa, joka on liitteessä 7.

Piirilevyn toisesta versiosta tehtiin reitityksen osalta kaksikerroksinen. Tällöin piirilevyn ylemmästä kerroksesta voitiin suunnitella suuri ja yhtenäinen maakerros. Tämän ansiosta piirilevyn toisessa versiossa on aiempaa vakaampi maataso. Lisäksi kaksikerroksisessa piirilevyssä ei tarvittu lainkaan hyppylankoja eikä signaalien läpivientejä.

## 5 LAITTEEN TOTEUTUS

Kun opastenäytön ensimmäisen version piirilevy oli suunniteltu, siirryttiin laitteen toteuttamisvaiheeseen. Piirilevy käytiin valmistamassa sovittuna ajankohtana Koulutuskeskus Salpauksessa. Piirilevy valotettiin, syövytettiin sekä porattiin muovikalvolle tulostetun syövytyskuvan perusteella.

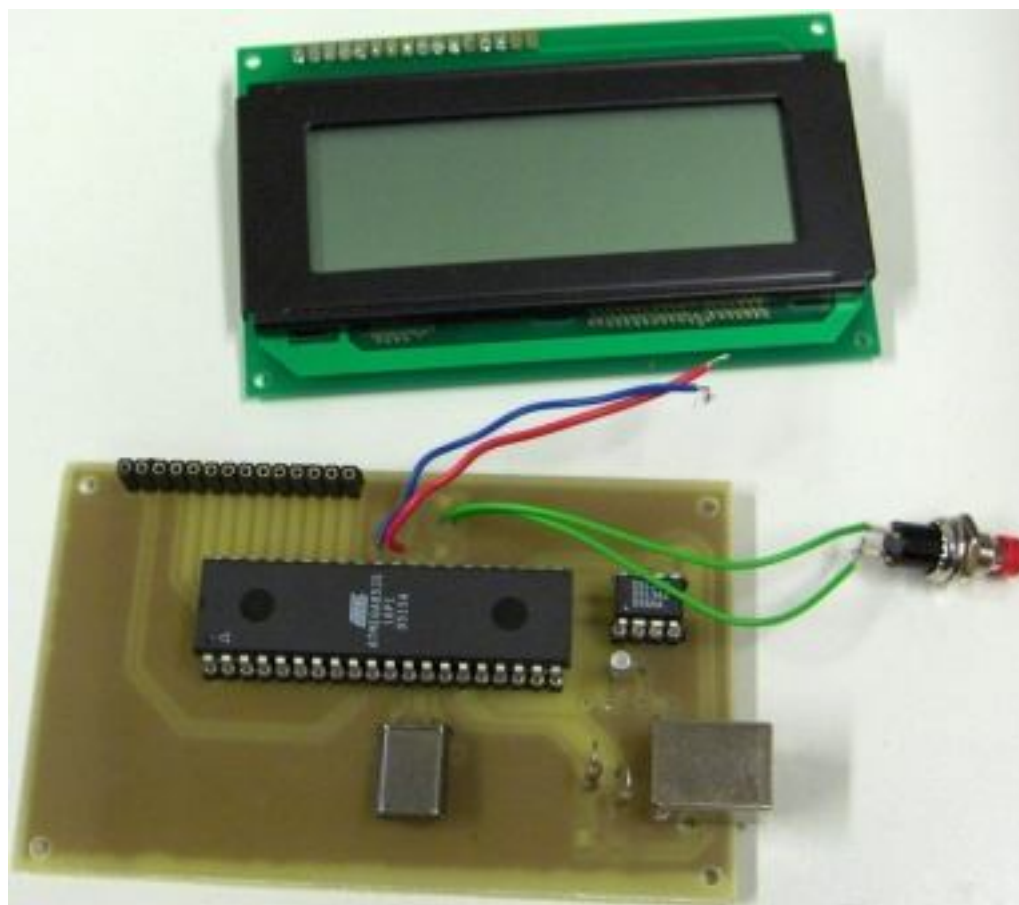
Heti kun opastenäytön ensimmäisen version osalista oli saatu valmiiksi, listan komponentteja alettiin etsiä. Aluksi sopivia komponentteja etsittiin Tekniikan laitoksen elektroniikkalaboratoriosta, mutta siellä ei ollut mitään osalistan komponenttia heti saatavilla. Tästä syystä kaikki komponentit jouduttiin tilaamaan Internetistä. Koska DS1337-reaaliaikakellopiiri oli tilapäisesti loppunut maahan-tuojan varastosta, sen toimitus viivästytti opastenäytön rakentamista lähes kahdelta viikolla. Komponentit tilattiin pääsääntöisesti ELFA Finland Oy Ab:stä, mutta viivästynyt DS1337-reaaliaikakellopiiri jouduttiin tilaamaan Oy Farnell Ab:stä. Molemmat yhtiöt ovat Tekniikan laitoksen suosimia kansainvälisiä elektroniikkajakelijoita.

Komponentit juotettiin piirilevylle juotoskolvilla sitä mukaan, kun ne saapuivat postissa Tekniikan laitoksen elektroniikkalaboratorioon. Pintaliitoskomponenttien juottamisessa käytettiin apuna pieniä pinsettejä. Kaikkien juotosten toimivuus testattiin yleismittarilla.

Opastenäytölle ei löytynyt sopivan kokoista koteloa elektroniikkalaboratoriosta, joten se piti myös tilata Internetistä. Opastenäytön koteloa ei kuitenkaan tilattu muiden komponenttien yhteydessä. Kotelo oli tarkoitus hankkia vasta, kun opastenäyttö oli rakennettu sekä testattu ja sen lopulliset ulkomitat olivat tiedossa. Työn aikataulun venymisen takia sopivaa koteloa ei kuitenkaan ehditty tilaamaan.

Valokuva kootusta opastenäytön ensimmäisestä versiosta on kuviossa 15. Kyseisessä valokuvassa nestekidenäyttö on irrotettu, jotta opastenäytön piirilevyn yläpuoli näkyisi. Laitteen testausta varten muuntajaan kytkettävää virtaliitintä ei asennettu käyttöjännitejohtimiin. Käyttöjännitteen johtimet näkyvät kuviossa

punaisella ja sinisellä. Kuviossa näkyvät vihreät johtimet ovat kytketty opastenäytön painonappiin.



KUVIO 15. Opastenäytön valokuva, jossa nestekidenäyttö on irrotettu

Kuviossa 16 on opastenäytön sivulta otettu valokuva, jossa nestekidenäyttö on asennettu paikalleen. Kyseisestä kuvioista voidaan havaita, että nestekidenäytön ja varsinaisen opastenäytön piirilevyt voitaisiin kiinnittää tukevasti yhteen piirilevyjen kulmiin asennettavilla pulteilla.



KUVIO 16. Opastenäytön valokuva sivulta

## 6 LAITTEEN TESTAUS

Koska opastenäytön toista versiota ei ehditty toteuttaa tälle opinnäytetyölle asetussa aikataulussa, ainoastaan opastenäytön ensimmäistä versiota voitiin testata. Koska USB:n kytkentä oli virheellinen opastenäytön ensimmäisessä versiossa, sitä ei voitu kytkeä isäntätietokoneeseen ja siten testata lainkaan. Opastenäytön toiminnan testauksessa työvälineinä käytettiin yleismittaria, logiikkakynää sekä logiikka-analysaattoria. Testaus toteutettiin Lahden ammattikorkeakoulun Tekniikan laitoksen elektroniikkalaboratoriossa.

Aluksi opastenäytön piirilevyn signaalireitityksien toimivuus tutkittiin yleismittarilla. Kun signaalireititykset todettiin virheettömiksi, opastenäytölle syötettiin käyttöjännite säädettävästä, suojaerotetusta teholähteestä. Heti kun opastenäyttö alkoi toimia, yleismittarilla mitattiin piirilevyn käyttöjännite- ja maatasojen jännitteet. Maataso pysyi jatkuvasti nollassa voltissa eikä käyttöjännitekään heilahdellut viidestä voltista, joten jännitetasot todettiin vakaiksi. Kun kyseisten tasojen jännitteet oli todettu sopiviksi, siirryttiin testaamaan opastenäyttöä logiikkakynällä. Logiikkakynällä testattiin silmämääräisesti kaikki opastenäytön signaalit eikä niissä havaittu ongelmia.

Koska opastenäytön komponentit muodostavat kiinteän kokonaisuuden, komponenttien toimivuutta voitiin testata samalla kertaa. Opastenäytön mikrokontrolleriin ohjelmoitiin testisovellus, joka käsittelee kaikkia opastenäytön komponentteja paitsi USB:tä. Testisovelluksessa mikrokontrolleri tulostaa nestekidenäytön ylimmälle riville staattisen tekstin ”Testisovellus”. Toiseksi ylimmälle riville tulostetaan päivämäärä ja seuraavalle riville kellonaika sekuntien tarkkuudella. Päivämäärä ja kellonaika noudetaan reaaliaikakellopiiriltä ja niitä päivitetään jatkuvasti nestekidenäytölle. Testisovelluksen päivämäärän alkuarvoksi alustettiin 31.10.2007 ja kellonajan alkuarvoksi 23:59:45. Tällöin opastenäyttö siirtyy seuraavaan kuukauteen 15 sekuntia testisovelluksen käynnistyksen jälkeen. Siten voitiin opastenäytön yleisen testauksen ohella tutkia, osaako reaaliaikakellopiiri siirtyä itsenäisesti seuraavaan kuukauteen. Testisovelluksen viimeisenä toimintona mikrokontrolleri tutkii jatkuvasti, painetaanko opastenäytön painonappia. Nestekidenäytön alimmalle riville tulostetaan teksti ”Nappia painetaan” tai ”Nappia ei paineta” riippuen siitä, painetaanko painonappia vai ei. Valokuva testisovellusta suorittavasta opastenäytöstä on kuviossa 17.



KUVIO 17. Testisovellusta suorittava opastenäyttö

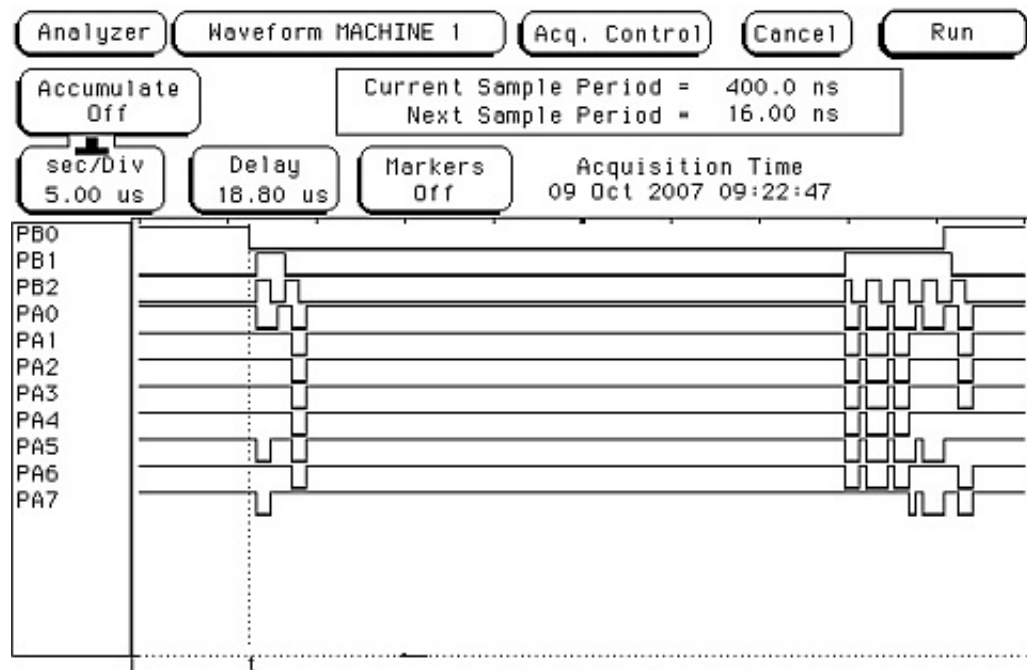


Kun testisovellus todettiin toimivaksi, opastenäyttö kytkettiin logiikka-analysointiin. Logiikka-analysointin avulla voitiin tutkia signaalien tiloja paljon logiikkakynää tarkemmin. Valokuva logiikka-analysointin kytkennästä on kuviossa 18.



KUVIO 18. Logiikka-analysointin kytkentä opastenäyttöön

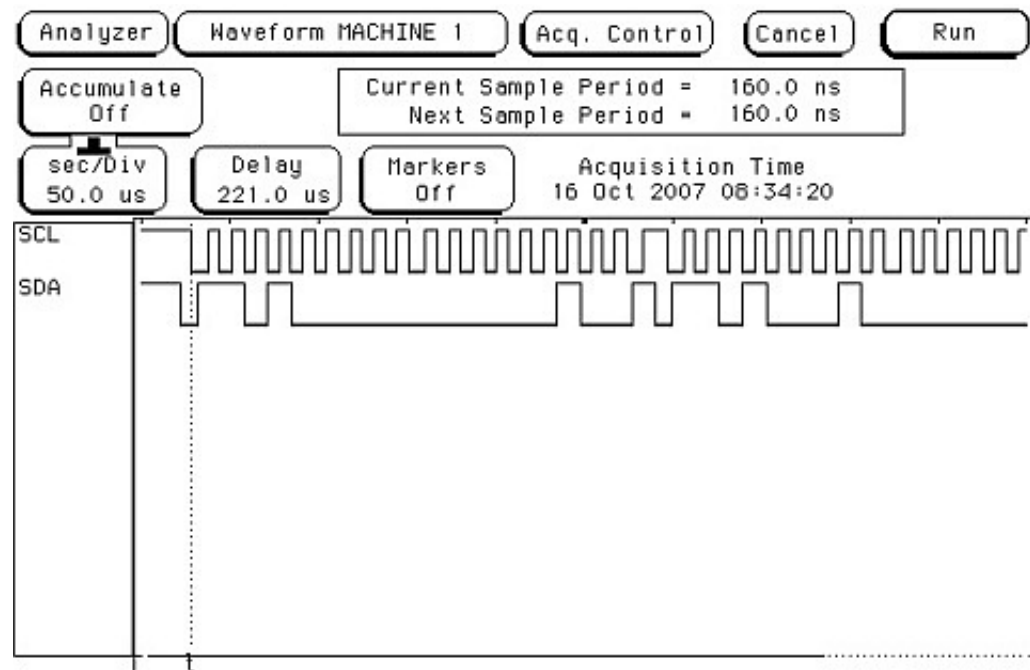
Logiikka-analysointilla tutkittiin aluksi mikrokontrollerin ja nestekidenäytön välisiä signaaleja. Logiikka-analysointin signaalit nimettiin mikrokontrollerin pinnien mukaan. Logiikka-analysointin kuvaruutukaappaus mikrokontrollerin ja nestekidenäytön välisestä tietoliikenteestä on kuviossa 19. Kuvion kolme ylintä testisignaalia (PB0 - PB2) ovat kytketty nestekidenäytön ohjaussignaaleihin ja loput kahdeksan testisignaalia (PA0 - PA7) ovat kytketty nestekidenäytön data-väylään. Logiikka-analysointin avulla todettiin, että nestekidenäytön data kulki oikein eikä signaaleissa esiintynyt häiriöitä.



KUVIO 19. Logiikka-analysaattorin kuvaruutukaappaus nestekidenäytön tietoliikenteestä

Nestekidenäytön jälkeen logiikka-analysaattorilla tutkittiin mikrokontrollerin ja reaaliaikakellopiirin välistä I<sup>2</sup>C-väylää. Logiikka-analysaattorin signaalit nimettiin I<sup>2</sup>C-väylän signaalien mukaan. Logiikka-analysaattorin kuvaruutukaappaus mikrokontrollerin ja reaaliaikakellopiirin välisestä tietoliikenteestä on kuviossa 20. Kuviossa näkyvä SCL-signaali välittää I<sup>2</sup>C-väylän tahdistussignaalin, jonka nousuvalla reunalla SDA-datasignaali luetaan. I<sup>2</sup>C:n signaalit todettiin oikeellisiksi eikä väylällä esiintynyt häiriöitä.

Reaaliaikakellopiirin testausvaiheessa opastenäytön piirilevyiltä irrotettiin 32,768 kHz kellokiteen kytkennästä molemmat 6 pF kondensaattorit. Näin reaaliaikakellopiirin kytkentä vastasi opastenäytön toisessa versiossa suunniteltua kytkentää. Reaaliaikakellopiiri toimi oikein myös kondensaattorien poistamisen jälkeen, joten reaaliaikakellopiiri ei todistetusti tarvitse ulkoisia kondensaattoreita eikä maadoitusta kellokiteen kytkennässä.



KUVIO 20. Logiikka-analysaattorin kuvaruutukaappaus reaaliaikakellopiirin tietoliikenteestä

Kaiken kaikkiaan testeissä todettiin, että opastenäytön ensimmäinen versio toimi oikein USB:tä lukuun ottamatta. USB:n toimintaa voidaan testata vasta opastenäytön toisessa versiossa, jossa USB:n kytkentä on suunniteltu paremmin.

## 7 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus suunnitella ja toteuttaa monipuolinen mutta helppokäyttöinen laite, joka korvaa perinteisen odotusvalosysteemin. Perinteiseen odotusvalosysteemiin verrattuna opinnäytetyössä suunnitellun laitteen täytyy voida esittää ja hallita paljon enemmän informaatiota. Laitetta täytyy voida hallita isäntätietokoneelta, mutta sen täytyy pystyä myös itsenäiseen toimintaan. Lisäksi laitteen toimintoja täytyy voida ajastaa tarkasti.

Opastenäytön toteuttamisessa käytiin läpi koko uuden laitteen valmistusprosessi ideoinnista ja suunnittelusta rakentamiseen ja testaamiseen. Opastenäytön toteuttaminen opetti paljon uusia ja hyödyllisiä asioita tietokone-elektronikasta sekä antoi kokemusta piirilevysuunnittelusta. Etenkin USB:n rakenteesta ja erilaisista käyttötavoista opittiin runsaasti, kun USB:n määrittäisiin tutustuttiin hyvin tarkasti. Testauksen perusteella kaikki paitsi USB toimivat opastenäytön ensimmäisessä versiossa. Jos USB:hen olisi tutustuttu paremmin jo ennen opastenäytön ensimmäisen version suunnittelua, pahimmat virheet USB:n kytkennässä olisi voitu välttää. Tällöin opastenäyttöä ei olisi tarvinnut suunnitella uudelleen ja työn aikataulu olisi pitänyt. Tosin opastenäytön toisen version suunnittelussa tarjoutui mahdollisuus parannella käytännössä jokaista opastenäytön osa-aluetta, joten toista versiota ei suunniteltu pelkästään USB:n virheellisen kytkennän takia.

USB:n lisäksi myös I<sup>2</sup>C:stä saatiin käytännön kokemusta. I<sup>2</sup>C:n määrittäisiin oli tutustuttu jo aiemmin, mutta opastenäyttö tarjosi ensimmäisen mahdollisuuden kokeilla I<sup>2</sup>C:tä käytännössä. Koska I<sup>2</sup>C:n teoriaa oli käsitelty jo aiemmin, I<sup>2</sup>C:n käyttöönotto oli huomattavasti helpompaa kuin USB:n.

Vaikka opastenäyttöä ei saatu valmiiksi tämän opinnäytetyön aikataulun puitteissa, opastenäytön toinen versio on tarkoitus toteuttaa lähitulevaisuudessa. Uskon, että opastenäytön korjatussa versiossa myös USB saadaan toimimaan, jolloin opastenäyttö voidaan ottaa hyötykäyttöön. En siksi katso työn epäonnistuneen, vaan ainoastaan viivästyneen.

## LÄHTEET

Atmel Corporation. 2005. ATMega8535 [datalehti]. [viitattu 14.9.2007]. Saatavissa: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2502.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2502.pdf)

Atmel Corporation. 2007. AVR Product Line Introduction [datalehti]. [viitattu 14.9.2007]. Saatavissa: [http://www.atmel.com/products/AVR/overview/AVR\\_ProductLineIntroduction.pdf](http://www.atmel.com/products/AVR/overview/AVR_ProductLineIntroduction.pdf)

Compaq, Intel, Microsoft & NEC. 1998. Universal Serial Bus Specification Revision 1.1 [datalehti]. [viitattu 10.9.2007]. Saatavissa: <http://www.poweredusb.org/pdf/usb11.pdf>

Hebei Gem-Tech Electronics Co., Ltd. 2003. GTC-20041 [datalehti]. [viitattu 20.9.2007]. Saatavissa: <http://www.elfa.se/pdf/75/07551278.pdf>

Lattice Semiconductor Corporation. 2001. Differential Signaling [datalehti]. [viitattu 11.9.2007]. Saatavissa: [http://www.latticesemi.com/dynamic/view\\_document.cfm?document\\_id=2709](http://www.latticesemi.com/dynamic/view_document.cfm?document_id=2709)

Maxim Integrated Products. 2006. DS1337 [datalehti]. [viitattu 19.9.2007]. Saatavissa: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS1337-DS1337C.pdf>

Microsoft Corporation. 2007. Plug and Play - Architecture and Driver Support [verkkojulkaisu]. [viitattu 12.9.2007]. Saatavissa: <http://www.microsoft.com/whdc/system/pnppwr/pnp/default.aspx>

National Semiconductor Corporation. 1993. DP8573A [datalehti]. [viitattu 19.9.2007]. Saatavissa: <http://www.national.com/ds.cgi/DP/DP8573A.pdf>

Objective Development Software GmbH. 2007. AVR-USB [verkkojulkaisu]. [viitattu 12.9.2007]. Saatavissa: <http://www.obdev.at/products/avrusb/index.html>

USB Implementers Forum. 2007. About USB-IF [verkkajulkaisu]. [viitattu 11.9.2007]. Saatavissa: <http://www.usb.org/about>



## LIITE 2 Opastenäytön ensimmäisen version osalista

Qty	Reference	Value	Description
2	C1-2	22 pF	SMD CAPACITOR 1206
2	C3-4	6 pF	SMD CAPACITOR 1206
2	C5-6	100 nF	SMD CAPACITOR 1206
4	DRILL1-4		2,5 mm Drill hole
2	GND VCC		GENERIC 1 PIN CONNECTOR
1	R1	1.5 kOhm	SMD RESISTOR 1206
1	R2	1 MOhm	SMD RESISTOR 1206
2	R3-4	68 Ohm	SMD RESISTOR 1206
4	R5-8	4,7 kOhm	SMD RESISTOR 1206
1	SW1		WIRE CONNECTION
1	U1		ATMega8535
1	U2		USB-B Connector
1	U3		40x4 LCD Display
1	U4		Maxim DS1337 RTC
1	Y1	12 MHz	CRYSTAL
1	Y2	32,768 kHz	CRYSTAL

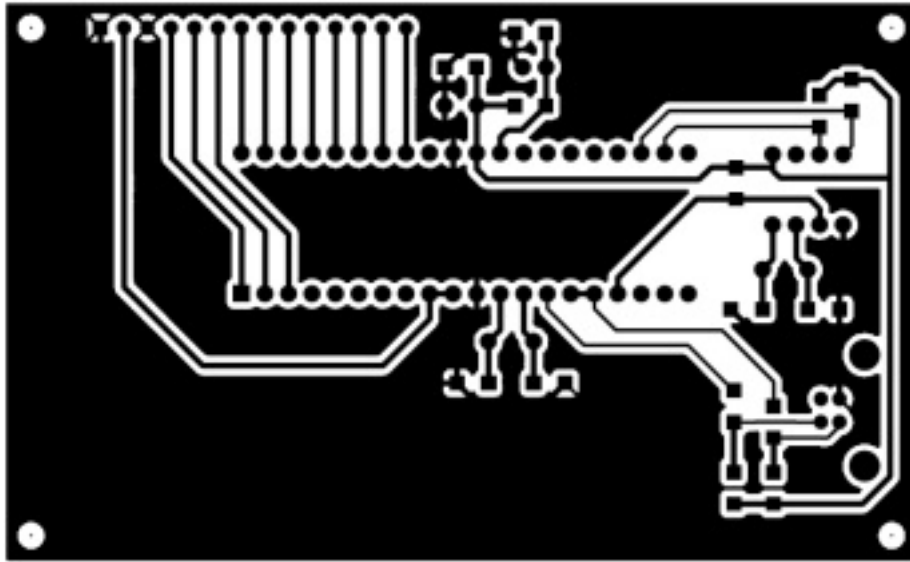




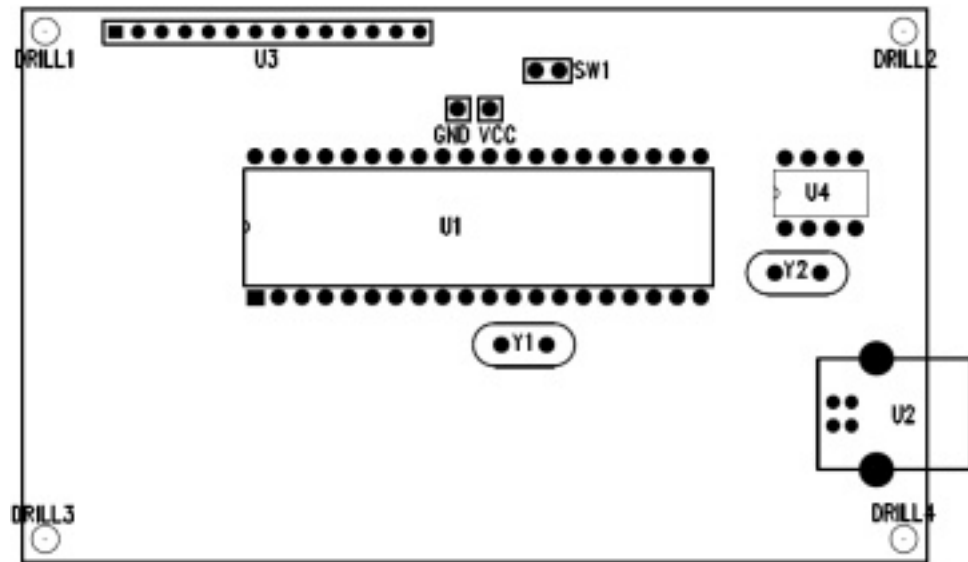
## LIITE 4 Opastenäytön toisen version osalista

Qty	Reference	Value	Description
1	C1	10 uF	SMD ELECTROLYTE CAPACITOR
1	C2	100 nF	SMD CAPACITOR 1206
2	C3-4	22 pF	SMD CAPACITOR 1206
2	D1-2	3,6 V/0,25 W	SMD ZENER-DIODE
1	D3	1N4148	SMD DIODE
4	DRILL1-4		2,5 mm Drill hole
2	GND VCC		GENERIC 1 PIN CONNECTOR
1	R1	1,5 kOhm	SMD RESISTOR 1206
1	R2	1 MOhm	SMD RESISTOR 1206
2	R3-4	62 Ohm	SMD RESISTOR 1206
4	R5-8	4,7 kOhm	SMD RESISTOR 1206
1	SW1		WIRE CONNECTION
1	U1		ATMega8535
1	U2		USB-B Connector
1	U3		40x4 LCD Display
1	U4		Maxim DS1337 RTC
1	Y1	16 MHz	CRYSTAL
1	Y2	32,768 kHz	CRYSTAL

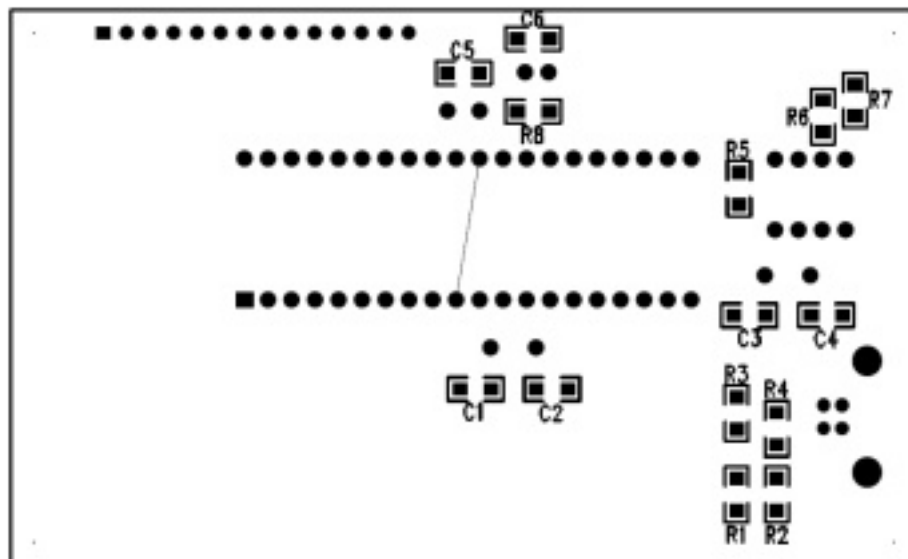
LIITE 5 Opastenäytön ensimmäisen version piirilevyn syövytyskuva



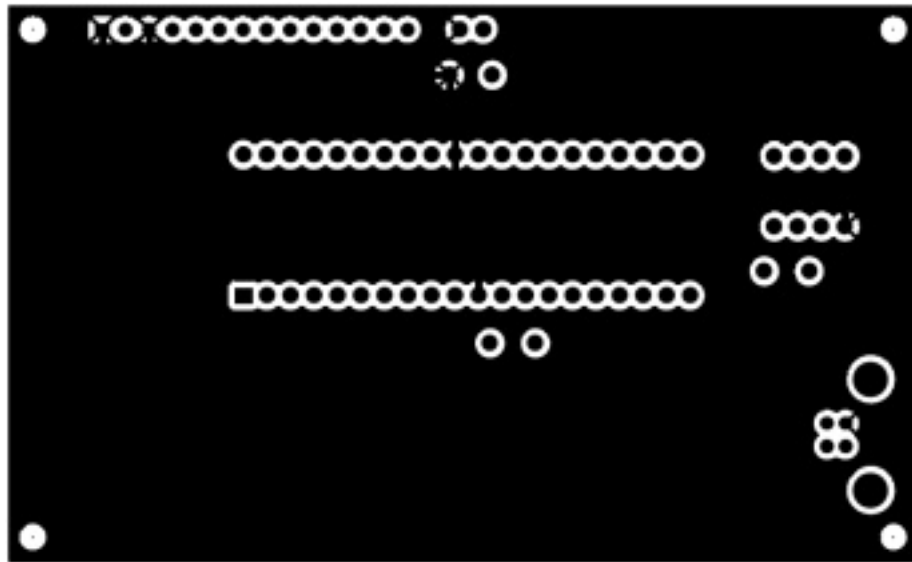
LIITE 6 Opastenäytön ensimmäisen version piirilevyn yläpuolen osasijoittelukuva



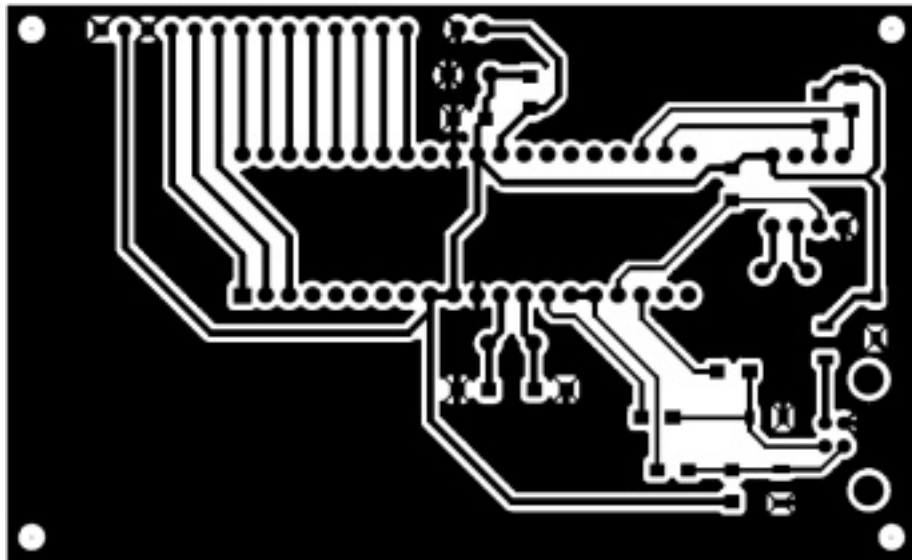
LIITE 7 Opastenäytön ensimmäisen version piirilevyn alapuolen osasijoittelukuva



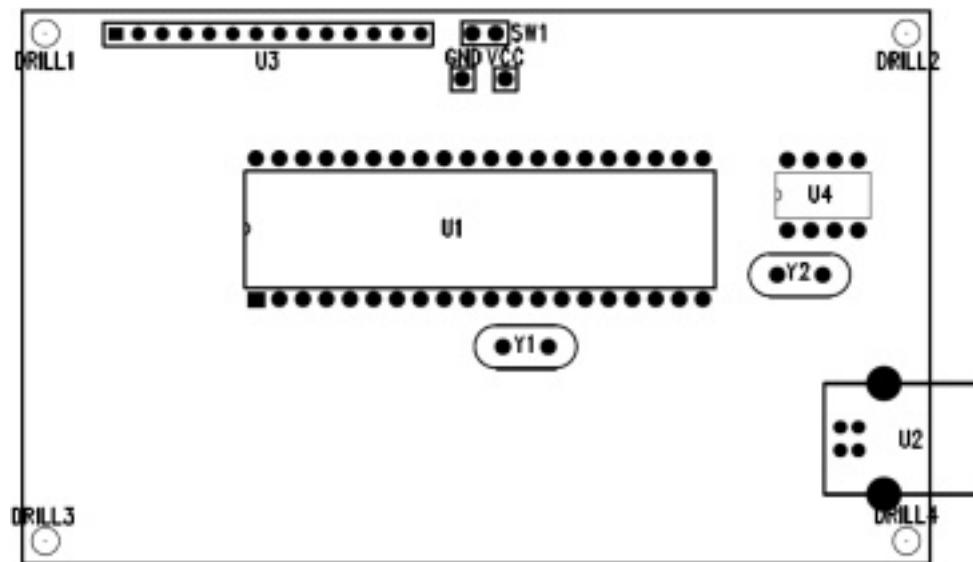
LIITE 8 Opastenäytön toisen version piirilevyn yläpuolen syövytyskuva



LIITE 9 Opastenäytön toisen version piirilevyn alapuolen syövytyskuva



LIITE 10 Opastenäytön toisen version piirilevyn yläpuolen osasijoittelukuva



LIITE 11 Opastenäytön toisen version piirilevyn alapuolen osasijoittelukuva

