

ÖLJYNEROTTIMEN ÖLJYPATJAN KORKEUSMITTARI

Aki Kuusela

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013
Tietotekniikka
Sulautetut järjestelmät ja
elektroniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietotekniikka
Sulautetut järjestelmät ja elektroniikka

Aki Kuusela:
Öljynerottimen öljyputjan korkeusmittari

Opinnäytetyö 37 sivua, joista liitteitä 7 sivua
Toukokuu 2013

Työn tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa mittalaitteen prototyyppi, jolla voidaan helposti ja nopeasti mitata öljynerottimen öljyputjan korkeus. Työ toteutettiin tilaustyönä Elvime Ky -yritykselle.

Työn aikana tutustuttiin IEC:n ja SFS:n standardeihin EX-tiloissa toimiville laitteille, erityisesti standardiin IEC 600079-11. Näiden standardien vaatimukset ovat peräisin ATEX-direktiivistä 94/9/EC. Laitteen toiminta perustuu kapasitiiviseen mittausturiiin. Mittausanturille suunniteltiin komparaattoriyhtymä kapasitanssin mittausta varten. Mittaustiedot käsitellään kädessä pidettävällä mittalaitteella, jonka mikrokontrollerina käytetään 8-bittistä AVR-mikrokontrolleria. Laitteen tarvitsema sähkö tuotetaan hakku-rivirtalähteen avulla, litiumioniakusta. Työn aikana laitteen virrankulutus mitattiin, jotta saataisiin tietää sen kuluttama virta lepotilassa ja päällä ollessa.

Työlle asetettu tavoite eli toimiva mittalaite saatiin valmistettua.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Computer Systems Engineering
Embedded Systems and Electronics

Aki Kuusela:
Oil Level Meter for Oil Separator

Bachelor's thesis 37 pages, appendices 7 pages
May 2013

The objective of this thesis was to design and assemble a working prototype that can easily and quickly measure the oil level of an oil separator. The thesis was ordered by a company named Elvime Ky.

During the thesis IEC and SFS standards concerning devices in ATEX-environments were examined, especially IEC standard 600079-11. The requirements of these standards come from the ATEX-directive 94/9/EC. Operation of the device is based on a capacitive measurement sensor. A comparator circuit was designed to measure the capacitance of the sensor. Measurement data are analyzed by a hand held measurement device. Power to the device is created using a step-up regulator and comes from a lithium ion battery. The current consumption of the devices was also measured.

The objective of the thesis was accomplished and a working meter was assembled.

Key words: oil separator, level measurement, microcontroller

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ÖLJYNEROTTIMEN TOIMINTA JA ÖLJYKERROKSEN PAKSUUDEN MITTAUS	7
2.1	Mittalaitteen toimintaperiaate ja suunnittelu	8
3	ANTURI.....	10
3.1	Anturielektroniikan simulointi.....	10
3.2	Anturielektroniikan suunnittelu ja testaus	11
4	MITTALAITE.....	14
4.1	Hakkurin suunnittelu.....	15
4.2	Virtakytkimen elektroniikka	15
4.3	Latauselektroniikka ja akku	17
4.4	Piirilevyn suunnittelu	18
5	OHJELMISTO	20
5.1	Kytönten toiminta	20
5.2	Näytönohjaus	21
6	TESTAUS	23
6.1	Virtamittaukset.....	24
7	YHTEENVETO	27
7.1	Kehitystarpeet	28
	LÄHTEET.....	30
	LIITTEET	31
	Liite 1. Anturielektroniikan LTspice-simulointimalli	31
	Liite 2. Anturielektroniikan LTspice-simulointitulokset.....	32
	Liite 3. 100 nF kondensaattorin mittaustulokset	33
	Liite 4 Mittalaitteen elektroniikan lohkoakaavio	34
	Liite 5 Ajastinkeskeytyspalvelun vuokaavio.....	35
	Liite 6. Hakkurivirtalähteen toimintataajuuden mittaus.....	36

TERMIT

Vesipasta	Aine joka reagoi veteen, vaihtamalla väriä.
EX-tila	Räjähdyksivaarallinen tila, joka voi sisältää pölyä tai kaasua räjähdysherkkänä ilma-seoksena.
EX-alue	Räjähdyksivaarallinen alue, joka voi sisältää pölyä tai kaasua räjähdysherkkänä ilma-seoksena.
IEC	Kansainvälinen sähkötekniikan komissio
SFS	Suomen standardoimisliitto
LTspice	Kytkeäntöjen simulointiin tarkoitettu ohjelmisto, jota jakaa ilmaiseksi internetissä Linear Technologies.
AVR	Atmelin kehittämä mikrokontrollerituotepärihe.
ISP	Ohjelmointitapa jossa ohjelmoidaan jo järjestelmänosana oleva piiri.
EEPROM	Sähköisesti pyyhittävä ja uudelleenohjelmoitava muisti.
RISC	Vähennetyt käskykannan tietokone.

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee elektronisen mittalaitteen suunnittelun ja prototyypin valmistuksen öljynerottimen öljypatjan korkeuden mittaamiseen. Työ tehtiin Elvime Ky -yritykselle. Yrityksen toimialuetta on muun muassa huoltoasemien laitehuolto, jonka yhtenä osa-alueena on öljynerottimien huolto ja toiminnan tarkkailu. Ajatus tämän tyyppisen laitteen kehittämiseen tuli suoraan omasta ja muiden yrityksen työntekijöiden kenttäkokemuksen perusteella. Tämän tyyppistä mittalaitetta ei tällä hetkellä ole markkinoilla, ja vanhat menetelmät mittaukseen ovat hankalia.

Työssä käsitellään laitteen käyttötarkoitus ja lainsäädännön vaatimukset laitteelle. Vaatimukset perustuvat ATEX-direktiiviin 94/9/EC, joka on räjähdysvaaralliset tilat ja alueet määrittävä direktiivi. Laitteen toimintaperiaate perustuu kapasitiiviseen mittaukseen. Tämä opinnäytetyö ei käsittele laitteen sertifiointia tai muuta tyyppihyväksyntää, koska kyseessä on vasta prototyyppiasteella olevan laitteen suunnittelu ja toteutus. Työn pää tavoitteena on tuottaa toimiva laite öljypatjankorkeuden mittaamiseen luotettavasti ja helposti. Öljymäärä erottimessa on tiedettävä tarkasti, koska öljyn kuljettaminen hävitettäväksi on kallista, koska se luokitellaan ongelmajätteeksi ja pitää kuljettaa vaarallisten aineiden kuljetuksena.

Työ tehtiin pääasiallisesti syksyn 2012 ja kevään 2013 aikana. Laite koostuu kahdesta eri kokonaisuudesta: anturista ja mittalaitteyksiköstä. Suunnittelussa tuli toimivuuden lisäksi huomioida, että laitteen tulisi olla mukana kuljetettava sekä mahdollisimman helppo ja nopea käyttää.

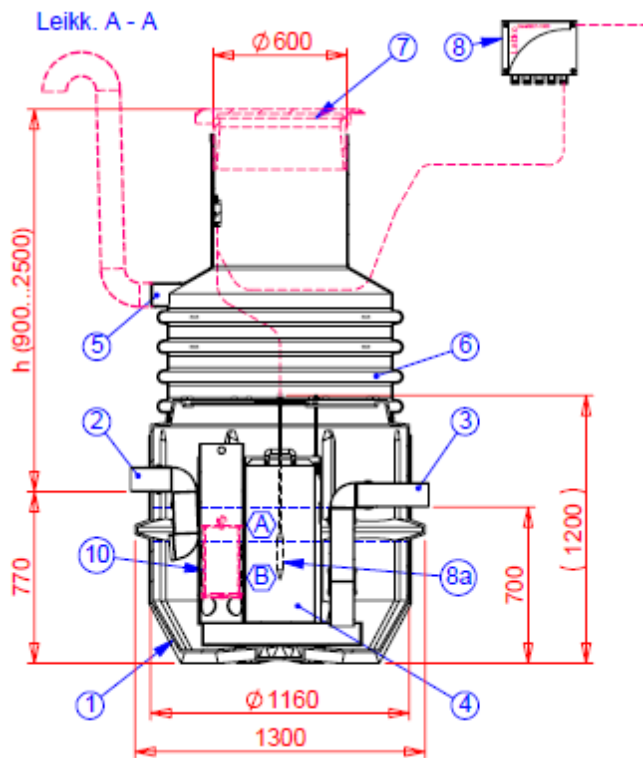
2 ÖLJYNEROTTIMEN TOIMINTA JA ÖLJYKERROKSEN PAKSUUDEN MITTAUS

Öljynerotin on kaivo, jonka tarkoituksena on erottaa öljyä sisältävästä vedestä öljy ja varastoida sitä, kunnes se voidaan hävittää turvallisesti. Öljynerottimen toiminta perustuu öljyn ja veden tiheuseroon, koska vesi on tiheämpää, se painuu öljynerottimen pohjalle. Öljynerottimessa tulee aina olla vettä pohjalla, jotta se toimisi oikein. Öljynerottimet ovat nykyään pakollisia kaikissa paikoissa, joissa käsitellään öljyä tai öljyä ja vettä sisältäviä seoksia, kuten esimerkiksi huoltoasemilla, huoltamoilla ja autopesuloissa. Öljynerottimet pitää lain mukaan varustaa hälytinlaitteistolla, jolla havaitaan, koska erotin on täynnä ja tulee tyhjentää. Tässä opinnäytetyössä toteutettavan mittalaitteen avulla pystytään tarkastamaan, kuinka paljon öljyä on erottimessa, ja toimiiko erotin niin kuin pitäisi. Jos öljynerottimessa ei pitkään ajan jälkeen ole yhtään öljyä, voidaan olettaa, että erotin ei toimi oikein. Ympäristölainsäädännön tiukentuessa laitteiden ylläpidosta ja huollosta vastaavat tarvitsevat helpon ja yksinkertaisen tavan tarkistaa erottimen toiminta.

Kehitettävän prototyypin käyttötarkoituksena on mitata öljynerottimen sisältämän öljypatjan korkeus, joka on esitetty merkinnällä A kuvassa 1. Tällä hetkellä ainoa käytännön sovellus tähän mittaamiseen on pinnanmittauskeppi, johon on laitettu vesipastaa. Vesipasta reagoi öljyn alapuolella olevaan veteen, ja tällä tavoin voidaan havaita, onko öljynerottimessa mahdollisesti öljyä. Öljynerottimen öljypatjan korkeuden tietäminen on tärkeä tieto, jotta voitaisiin tietää, toimiiko öljynerotin oikein. Nykyinen metodi on hyvin hankala ja hidas. Tästä syystä elektroninen laite, joka voidaan vain pudottaa mittaamaan öljynerottimeen, on huomattavasti nopeampi ja helpompi ratkaisu.

Tärkeänä näkökulmana oli, että laitteen tulisi vastata EX-tiloissa ja -alueilla toimiville laitteille asetettuja vaatimuksia. EX-tilat ja -alueet luokitellaan räjähdysvaarallisuutensa perusteella kolmeen luokkaan. 2-luokka on tila, jossa harvoin, normaalikäytöstä poikkeavissa olosuhteissa on höyry-ilma-seosta räjähdyskelpoisena pitoisuutena. 1-luokka on tila, jossa normaalikäytön tai huollon aikana on lyhytaikaisesti höyry-ilma-seosta räjähdyskelpoisena pitoisuutena. 0-luokka on tila, jossa normaalikäytön aikana on pysyvästi (jatkuvasti) tai pitkäaikaisesti höyry-ilma-seosta räjähdyskelpoisena pitoisuutena. (SFS-Käsikirja 39-2, 64)

EX-tilassa olevan laitteen on oltava luonnostaan turvallinen. Luonnostaan turvallisessa laitteessa sähköenergia, joka on alttiina räjähdysvaaralliselle ympäristölle, on rajoitettu sellaiselle tasolle, että ei voi tapahtua räjähdystä kipinän tai kuumien pisteiden takia, myös liittimien tarvitsee olla riittävän etäällä toisistaan (IEC 60079-11 2011). Nämä määritelmät ovat peräisin IEC:n asettamista standardeista ja tässä työssä käytetään hyväksi standardia IEC 60079-11, joka määrittelee ohjeistuksen luonnostaan turvallisille laitteille ja niiden suunnittelulle.



KUVA 1. Öljynerotin poikkileikkaus (Wavin-Labko)

2.1 Mittalaitteen toimintaperiaate ja suunnittelu

Suunnittelu alkoi miettimällä, millä keinolla pystytään mittaamaan helposti ja luotettavasti kahden eri nesteen rajapintaa. Päädyttiin ratkaisuun, jossa käytetään kapasitiivista anturia. Syynä tähän oli kapasitiivisen anturin hyvä fyysinen kestävyys, sekä helppo rakenne. Yksinkertaisin kondensaattori on kaksi levyä, joilla on eristettä välissä. Tässä sovelluksessa hyödynnetään sitä, että anturin muut fyysiset ominaisuudet pysyvät vakioina, ainoastaan eristävän aineen permittiivisyys muuttuu.

Anturin toimintaperiaate testattiin rakentamalla alumiiniputkesta ja johtimesta testikyt-kentä ja mittamaalla kapasitanssi, kun anturi on täysin ilmassa ja täysin vedessä. Tällä tavoin arvoiksi saatiin noin 600 pF täysin vedessä ja noin 300 pF täysin ilmassa. Mittauksissa käytettiin Fluke 87V -yleismittaria. Näiden mittauksien tarkoituksena oli vain testata, pystytäänkö tällä periaatteella toimivalla anturilla mittaamaan pinnankorkeutta.

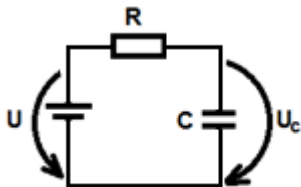
Kapasitanssin mittaaminen on helppoa, koska RC-piirin kondensaattori ja vastus muodostavat aikavakion. Yhden aikavakion aikana kondensaattori latautuu hieman yli 63 % käyttöjännitteestä. Kaavassa 1 on esitetty kondensaattorin jännitteen arvo RC-piirissä. Kuvassa 2 on esitetty RC-piirin kytkentäkaavio.

$$U_C = U \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (1)$$

Kaavassa U_C on kondensaattorin jännite, U on koko kytkennän jännite, t on kytkennästä kulunut aika ja τ on aikavakio, joka on kapasitanssin ja resistanssin tulo. Tietämällä resistanssi ja kulunut aika pystytään laskemaan kapasitanssi. Tästä pystytään laskemaan, kuinka suuri aikavakio olisi kapasitanssi arvoilla 600 pF ja 300 pF, kun resistanssi on 220 k Ω , nämä laskut on esitetty kaavoissa 2 ja 3. Tässä sovelluksessa absoluuttisella kapasitanssilla ei ole merkitystä, vaan suurempi merkitys on eri tiloissa olevien arvojen erotuksella. Käytännössä anturi toimii kondensaattorina, jonka eristeen permittiivisyys muuttuu riippuen siitä, onko kyseinen anturi vedessä vai öljyssä. Tällä tavalla toteutetuna anturia voidaan käyttää periaatteessa minkä tahansa nesteen korkeuden mittaukseen.

$$\tau = 220 \text{ k}\Omega \cdot 600 \text{ pF} = 132 \text{ }\mu\text{s} \quad (2)$$

$$\tau = 220 \text{ k}\Omega \cdot 300 \text{ pF} = 66 \text{ }\mu\text{s} \quad (3)$$



KUVA 2. RC-piirin kytkentäkaavio

3 ANTURI

Anturin fyysinen mitoitus oli työn seuraava askel. Öljynerottimen öljypatjan paksuus vaihtelee nollan senttimetrin ja 20 senttimetrin välillä, joten anturin piti olla pitempi kuin 20 senttimetriä, pituudeksi päätettiin 40 senttimetriä. Syynä tähän oli, että jos erotin on liian täynnä tai ei muuten toimi oikein, olisi hyvä havaita myös suurempia paksuuksia kuin 20 senttimetriä. Päätettiin myös, että anturin tulisi olla irrotettavissa mittausyksiköstä, koska tällöin laitteen varastointi ja kuljettaminen olisi huomattavasti helpompaa. Alun perin kapasitanssin mittauksessa oli tarkoituksena käyttää mikrokontrollerin sisäistä analogista komparaattoria, mutta tähän olisi vaikuttanut liian paljon liitäntäkaapelin kapasitanssi, joten päädyttiin erilliseen elektroniikkaan anturin sisällä.

Näiden päätösten jälkeen suunniteltiin anturin elektroniikka ja sen vaatima kytkentä. Kytkennäksi valittiin yksinkertainen komparaattorikytkentä sen pienen komponenttimäärän ja hyvän fyysisen kestävyuden takia. Komparaattorikytkennälle vaatimuksena oli toimia pienellä virralla ja jännitteellä, koska EX-tilaan menevän tehon pitää olla pieni mahdollisten kuumien pisteiden ja kipinöiden välttämiseksi. Sähkö anturille syötetään ylijännitesuoja kytkennän kautta. Se on yksinkertainen zenerdiodeilla toteutettu virran ja jännitteen rajoituskytkentä, sen avulla pyritään rajoittamaan EX-tilaan menevän tehon määrä. EX-tilaan tai -alueelle menevä virta on riippuvainen jännitteestä, nämä arvot löytyvät standardin IEC 60079-11 6:n painoksen sivulta 88.

Anturin käyttöjännitteeksi valittiin kolme voltia, koska koko kytkennän käyttöjännite tulisi olemaan viisi voltia. Komparaattorikytkentä oli yksinkertainen suunnitella, komparaattorin ei-kääntävään sisääntuloon kytkettiin mittauspää ja tunnettu vastus, kääntävään sisääntuloon kytkettiin jännitejako, joka tuottaa noin 63 % käyttöjännitteestä. Liitteessä 1 on esitetty anturielektroniikan LTspice simulointimalli.

3.1 Anturielektroniikan simulointi

Näiden mitoitusien jälkeen kytkentä simuloitiin LTspice ohjelmistolla. LTspice on ilmainen kytkentöjen simulointiin tarkoitettu ohjelmisto, kyseinen simulaattori sisältää suuren osan Linear Technologiesin -piireistä. Näihin kuuluu esimerkiksi operaatiovah-

vistimia ja komparaattoreita. Kytkentä simuloitiin, jotta pystyttiin näkemään, toimiiko komparaattori vaaditulla jännitteellä ja millainen sen ulostulo olisi. Simuloinnissa anturia vastasi kondensaattori, jonka arvoa askellettiin 30 pF askeleilla välillä 300–600 pF.

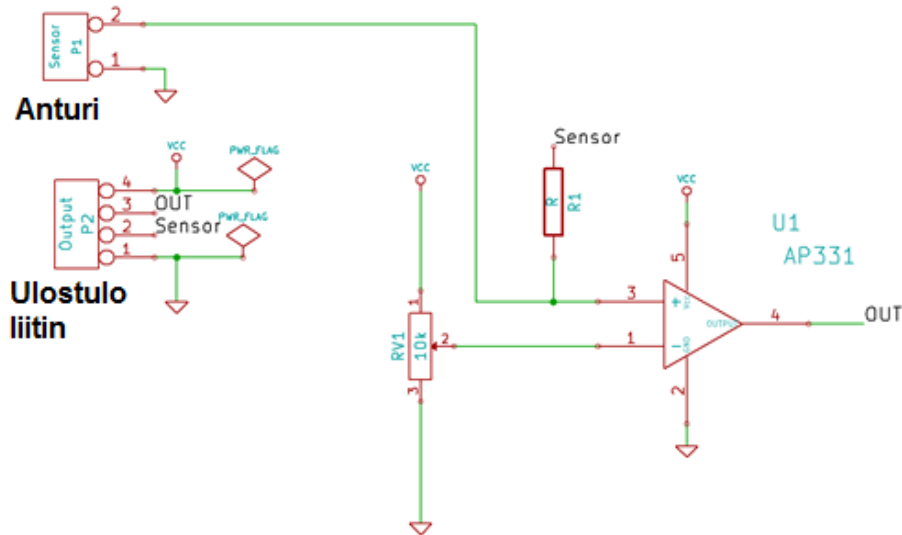
Simuloinnissa ajan hetkellä nolla aktivoitiin pulssi, joka pysyy ylhäällä 1 ms ajan, jokainen eri kapasitanssin arvo viivästyttää signaalia eripituisen ajan, kapasitanssin kasvaessa myös tämä aika kasvaa. Tämä viivästyminen on esitetty erivärisillä viivoilla liitteessä 2. Simulointitulosten avulla pystyttiin päättelemään, että kytkentä käyttäytyy oletetusti, ja arvioimaan, kuinka tarkka tulisi varsinaisen mittaavan elektroniikan olla.

Simulointitulokset olivat hyvin lähellä laskettuja arvoja. Suurin vaihtelu oli noin kaksi mikrosekuntia, mutta tämä vaihtelu oli lähes sama kaikilla kapasitanssiarvoilla. Kahden mikrosekunnin virhe johtui siitä, että kytkennässä käytettyjen vastusten luoma jännitejako ei ole tarkalleen sama arvo, mihin kondensaattori latautuu yhden aikavakion aikana. Silti simulaation perusteella mittaustekniikka todettiin riittävän tarkaksi tähän sovellukseen, tarvittaessa mittarin pystyy kalibroimaan tunnetun kondensaattorin avulla.

3.2 Anturielektroniikan suunnittelu ja testaus

Simulaatitulosien perusteella suunniteltiin varsinaisen anturielektroniikan prototyyppi. Muutoksena simulointikytkentään oli käyttää LT6702 sijasta komparaattoria AP331 sen halvemman hinnan takia. Anturielektroniikan prototyypin suunnittelussa myös päätettiin vaihtaa kiinteä vastusjako säädettäväksi potentiometriksi. Tähän muutokseen syynä oli saada paremmin säädettävä jännitejaon arvo. Kuvassa 3 on esitetty ensimmäinen prototyyppi anturielektroniikan kytkennästä.

Tämän kytkentäkaavion avulla suunniteltiin piirilevy anturielektroniikalle, jotta kytkentä pystyttäisiin testaamaan ja havaitsemaan, toimiiko se simuloinnin osoittamalla tavalla. Näissä testauksissa havaittiin, että kytkentään valittu AP331 komparaattori ei toimi matalalla käyttöjännitteellä oikein, jännite tarvitsi nostaa noin viiteen volttiin, jotta kytkentä toimisi oikein. Tämä jännite oli aivan liian korkea, koska jännite haluttiin rajoittaa kolmeen volttiin EX-tilassa olevalle laitteelle. Myös potentiometrin säätäminen todettiin hankalaksi.

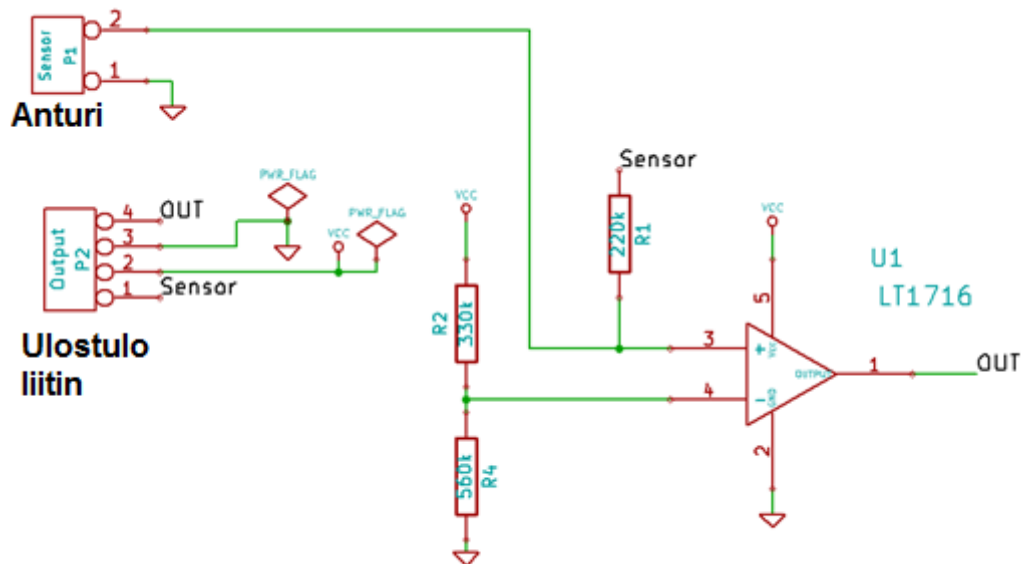


KUVA 3. Anturielektroniikan kytkentäkaavio.

Kytkeä simuloitiin uudelleen. Komparaattoriksi valittiin LT1716, joka on niin sanottu rail to rail -komparaattori, eli se pystyy ajamaan ulostulonsa hyvin lähelle positiivista ja negatiivista käyttöjännitettä. LT1716 on pieni fyysisiltä mitoiltaan, mikä helpottaa anturin koteloitua. Jännitejakoa varten piti mitoittaa vastukset, simulaatiokytkennässä käytettyjä 630 k Ω ja 370 k Ω vastuksia ei voinut käyttää, koska tällä resistanssiarvolla olevia vastuksia ei ole yleisessä valmistuksessa. Kaavassa 4 on esitetty vastusjako kytkennän toisen vastuksen laskeminen, toiseksi vastukseksi valittiin 330 k Ω vastus.

$$R_2 = \frac{-R_1 \cdot 0,63}{0,63-1} = \frac{-330 \text{ k}\Omega \cdot 0,63}{0,63-1} \approx 561,892 \text{ k}\Omega \quad (4)$$

Vastukseksi valittiin E24 standardin mukainen lähin vastus eli 560 k Ω , näillä lasketuilla vastusarvoilla kytkentä simuloitiin uudestaan, jotta pystyttiin tarkastamaan sen toiminta vaaditulla jännitteellä, ja kuinka paljon vastusarvojen muutos vaikutti kytkennän toimintaan. Simuloinnissa havaittiin, että kytkennän virhe kasvoi noin 7 μ s, mutta oli edelleen lähes sama kaikilla arvoilla, joten kytkennästä suunniteltiin uusi versio näillä komponentti arvoilla. Tämän kytkennän kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Anturielektroniikan muokattu kytkentäkaavio.

Tämän kytkentäkaavion perusteella tehtiin uusi piirilevy. Testauksessa mitattavana kondensaattorina oli 100 nF, testaus toteutettiin funktiogeneraattorin ja oskilloskoopin avulla simuloiden mittalaitteen suorittamaa mittausta. Tämän mittauksen tulokset ovat liitteessä 3. Mittauksissa kondensaattorin arvon virhe oli noin 3 nF mikä johtui vastus- jaon epätarkkuudesta tai kondensaattorin epätarkkuudesta. Kytkennällä ei ole tarkoitus mitata kondensaattorien tarkkaa arvoa, joten tällä virheellä ei ole tässä sovelluksessa merkitystä.

4 MITTALAITE

Mittalaite suunniteltiin mukana kuljetettavaksi, joka asetti omat vaatimuksensa sen suunnitteluun. Laitteen tarvitsi sisältää akku tai paristot, ja laitteen virrankulutuksen tuli olla pieni. Akkutyypiksi valittiin litiumpohjainen akku ja pääkäyttöjännitteeksi viisi volttia. Litium-akun nimellisjännite on 3,7 volttia, tämä aiheutti sen, että laitteessa tarvitsi olla hakkurivirtalähde, jolla pystytään nostamaan jännite korkeammaksi. Liitteessä 4 on mittalaitteen elektroniikkaa selventävä lohkokaavio.

Mittalaitteen näyttöyksiköksi suunniteltiin ensin LED-pylväsnäyttöä, mutta tästä luovuttiin sen huonon tulkittavuuden ja suuren virrankulutuksen takia. Virrankulutus on suuri johtuen siitä, että hyvin luettava näyttö tarvitsisi suuren määrän ledejä ja näillä jokaisella olisi suuri virrantarve. Näytöksi päädyttiin valitsemaan normaali aakkosnumeerinen LCD, jonka virrankulutus on huomattavasti pienempi, ja sillä pystytään näyttämään huomattavasti selvemmin mittaustulos ja mahdolliset kalibrointiasetukset.

Mikrokontrolleriksi laitteelle valittiin 8-bittinen RISC-mikrokontrolleri ATtiny 4313. Tässä mikrokontrollerissa on neljä kilotavua FLASH-ohjelmamuistia, 256 tavua sisäistä staattista muistia ja 256 tavua laiteohjelmoitavaa EEPROM:ia. Mikrokontrollerissa on 16-bittinen laskuri ja toiminto, millä pystyy helposti kaappaamaan ajanhetken, jolloin kaappausnastan tila muuttuu. (Atmel ATtiny 4313 datasheet) Tässä sovelluksessa kyseistä ominaisuutta käytetään mittaamaan anturin RC-aikavakion suuruus.

Alun perin hakkuriohjaimeksi suunniteltiin piiriä TPS61200, mutta tämä hylättiin hyvin aikaisessa vaiheessa hankalan komponenttipaketin ja hinnan takia. Tämä kyseinen hakkuri myös pystyi tuottamaan reilusti enemmän virtaa, kuin mitä laite tarvitsee. Näistä syistä hakkuriohjaimeksi valittiin MCP1640, jonka virrantuotto oli pienempi ja sen komponenttipaketti oli huomattavasti yleisempi, tämä piiri oli myös halvempi kuin TPS61200.

4.1 Hakkurin suunnittelu

MCP1640 on hakkurivirtalähdeohjain, joka pystyy tuottamaan 1,2-5 voltin jännitteestä viiden voltin jännitteen maksimissaan 350 mA kuormalla. (Microchip Technologies MCP1640, s. 1) Tämän piirin etuna on sen pieni ulkoisten komponenttien tarve ja pieni fyysinen koko. Piiri tarvitsee lisäksi yhden kondensaattorin suodattamaan tulojännitettä, yhden kondensaattorin suodattamaan lähtöjännitettä, kaksi vastusta lähtöjännitteen takaisinkytkentään sekä kelan, johon varastoidaan sähköenergiaa jännitteen nostamiseksi. Takaisinkytkentävastusten resistanssi lasketaan kaavan 5 mukaisesti.

$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{U_{\text{Out}}}{U_{\text{Fb}}} - 1 \right) \quad (5)$$

Kaavassa U_{Out} on lähtöjännite, U_{Fb} on takaisinkytkentänastan jännite 1,21 voltia, R_1 on ulostulonastan ja takaisinkytkentänastan välissä oleva vastus ja R_2 on takaisinkytkentänastasta maihin oleva vastus. Komponentin datalehdessä ilmoitetaan, että suuriarvoisilla vastuksilla saattaa olla ongelmia, koska pintaliitosympäristössä kontaminaatio saattaa synnyttää uusia virrankulkureittejä ja nämä saattavat vaikuttaa vastusjaon toimintaan. Tästä syystä vastusarvojen ei tulisi olla kovinkaan paljon datalehdessä ilmoitettuja korkeampia. Mittalaitteen suunnittelussa vastusten arvot kopioitiin suoraan datalehdessä, koska mittalaitte suunniteltiin käyttämään viiden voltin jännitettä ja datalehdessä oli suoraan tälle jännitteelle suunniteltu kytkentä. Tulojännitettä suodattavaksi kondensaattorin arvoksi valittiin 10 μF , lähtöjännitteen suodatuskondensaattoriksi arvoksi valittiin 22 μF .

4.2 Virtakytkimen elektroniikka

Laitteeseen valittiin erillinen mikropiiri LTC2950-1, joka vastaisi virran kytkemisestä ja laitteen sammuttamisesta. Kyseinen piiri on painikekontrolleri, joka toimii 2,7–26,4 voltin jännitteellä. Piirin virrankulutus on pieni, 2,7–24 voltin jännitteellä piiri kuluttaa maksimissaan 12 μA (Linear Technologies LTC2950, s. 3). Piirissä on sisäinen värähtelynoistoelektroniikka.

Piiri on varustettu alhaalla aktiivisilla kontrollisignaaleilla mikrokontrolleria varten, nämä signaalit ovat INT ja KILL. Kuvassa 5 on esitetty, miten piirin signaalit käyttäy-

tyvät, kun painiketta on painettu. Värähtelynoistoajat näkyvät kuvassa merkinnöillä t_{ONT} ja t_{OFFT} . Käynnistysvärähtelynoistoajan tullessa täyteen piiri odottaa KILL-signaalin ylösvetoa 512 ms aikana EN-signaalin noususta, tämän odotuksen aikana painikenastan tilaa ja KILL-signaalia ei huomioida. Odotuksen tarkoitus on, että ohjain tietää mikrokontrollerin käynnistyneen oikein, jos tätä signaalia ei havaita, tapahtuu sammutus. Tällä tavalla piiri suojaa mikrokontrolleria huonosti tai väärin toimivalta virtalähteeltä.

INT signaali on ulostulo, tämän signaalin idea on aiheuttaa mikrokontrollerissa keskeytys, jotta kontrolleri voi tehdä tarvittavat sammutus rutiinit. Näihin voi kuulua esimerkiksi tarkistaa, ettei piiri kirjoita EEPROM:iin mitään sillä hetkellä. KILL signaali on sisääntulo. Kun tämä nasta ajetaan alas LTC2950 sammuttaa järjestelmän, jota se ohjaa. LTC2950 on myös varustettu niin sanotulla ohjelmiston jumiutumisenesto-ominaisuudella, kun kytkimen värähtelynoisto aika tulee täyteen, piirissä käynnistyy laskuri, joka laskee 1024 ms:iin. Tämän laskurin tullessa täyteen laite sammutetaan riippumatta KILL signaalin tilasta.

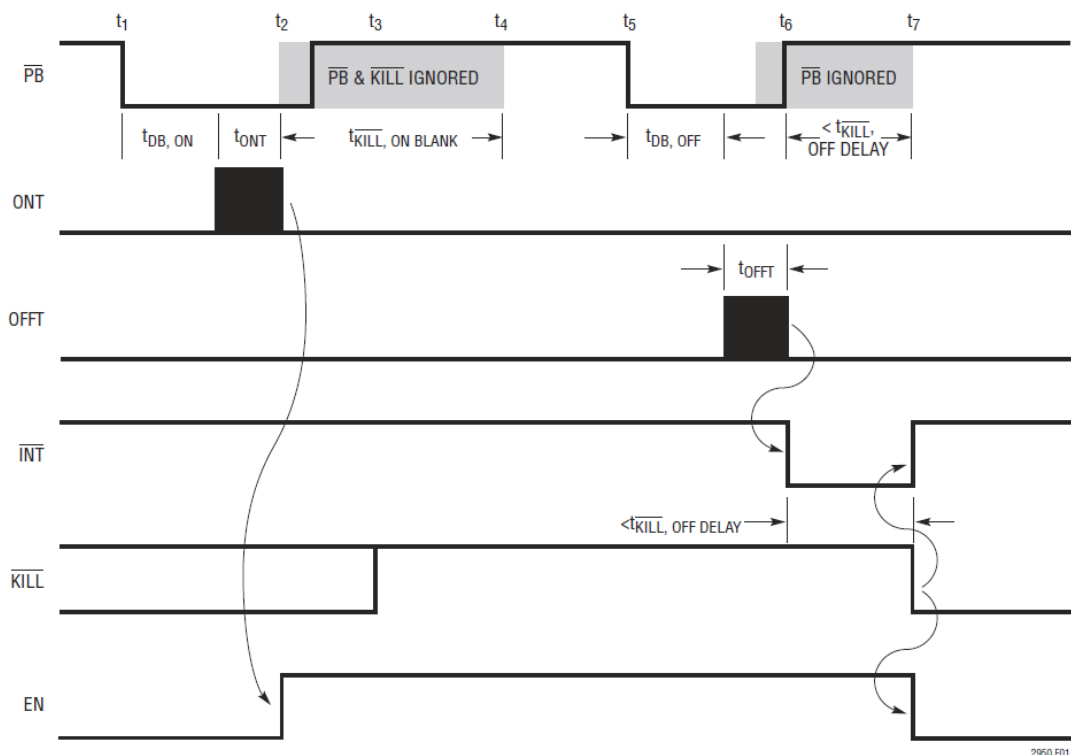


Figure 1. Simplified Power On/Off Sequence for LTC2950-1

KUVA 5. LTC2950 yksinkertaistettu ON/OFF-sekvenssi (LTC2950, s. 10)

Piirin värähtelynpoisto-aika on oletuksena 32 ms, tälle värähtelynpoistolle pystytään määrittämään myös erillisen kondensaattorin avulla jokin muu aika. Kondensaattorin arvo lasketaan kaavan 6 mukaisesti. (Linear Technologies LTC2950 datasheet)

$$C = 1,56 \cdot 10^{-4} \frac{\mu F}{ms} \cdot (t - 1 ms) \quad (6)$$

C on kondensaattorin arvo, t on valittu aika, kuinka pitkään nappia tulisi painaa ennen kuin toteutetaan kytkentä. Tämän kaavan 6 avulla laskettiin kondensaattori arvo yhden sekunnin poiskytkentävärähtelynpoisto-aikaa varten, lasku on esitetty kaavassa 7. Syynä ajan kasvattamiseen vakiosta on se, että tällä tavoin laite ei sammuu, vaikka virtakytkintä painaisi vahingossa esimerkiksi laitteen ollessa taskussa.

$$C = 1,56 \cdot 10^{-4} \frac{\mu F}{ms} \cdot (1000 ms - 1 ms) \quad (7)$$

$$C = 155,844 \text{ nF}$$

Kytkenässä päätettiin käyttää kahta 100 nF kondensaattoria rinnankytkennässä, jolloin kytkentäajaksi tulee noin 1,3 sekuntia.

4.3 Latauselektronikka ja akku

Mittalaite varustettiin sisäisellä litiumioniakulla, tämän takia siihen tarvitsi suunnitella tälle akkutyypille sopiva latauselektronikka. Litiumpohjaiset akut ovat hyvin tarkkoja latauksesta, jos niitä verrataan esimerkiksi nikkelpohjaisiin akkuihin. Nikkeliakku-tyypit voidaan ladata vakiovirtalatauksella, kunnes havaitaan deltapiikki eli piikkimäinen jännitteen nousu. Litiumpohjainen akku ladataan aluksi vakiovirralla ja sen jälkeen siirtymällä vakiojännitelataukseen. Väärän tyyppinen lataus voi aiheuttaa vaaratilanteita ja tapaturmia, koska litium reagoi hyvin herkästi ilmankosteuden kanssa ja voi sytyttää tällä tavoin tulipaloja.

Helpoin ja luotettavin tapa toteuttaa latauselektronikka on käyttää valmista latauspiiriä. Näitä latauspiirejä on monilla valmistajilla. Tähän laitteeseen valittiin Microchip Technologies yrityksen MCP73831-2 latauspiiri. Tämä mikropiiri on suunniteltu litiumioniakkujen lataukseen. Piirissä on alijännitesuoja, jonka tarkoituksena on tarkkailla tulo-

jännitettä ja aloittaa lataus, kun jännite nousee 150 millivolttia korkeammaksi kuin akun jännite. Piiri myös keskeyttää latauksen, jos tulojännite alenee 50 millivoltin päähän akun jännitteestä (Microchip Technologies MCP73831 datasheet).

Yleissääntönä litiumpohjaisten akkujen maksimilatausvirran suhteen pidetään akun nimelliskapasiteettiä tunnissa. Tämä usein esitetään merkinnällä 1 C. Laitteeseen suunniteltu akku on nimelliskapasiteetiltaan 900 milliampeerituntia. Maksimilatausvirta on siis 900 milliampeeria. Latauspiirin latausvirta voidaan asettaa suurimmillaan 550 milliampeeriksi, ja se on vapaasti asetettavissa akun tarvitsemaksi. Latausvirta voidaan laskea kaavan 8 mukaisesti. Tästä kaavasta pystytään johtamaan toinen kaava (9), jolla pystytään laskemaan vastuksen arvo.

$$I_{REG} = \frac{1000 V}{R_{PROG}} \quad (8)$$

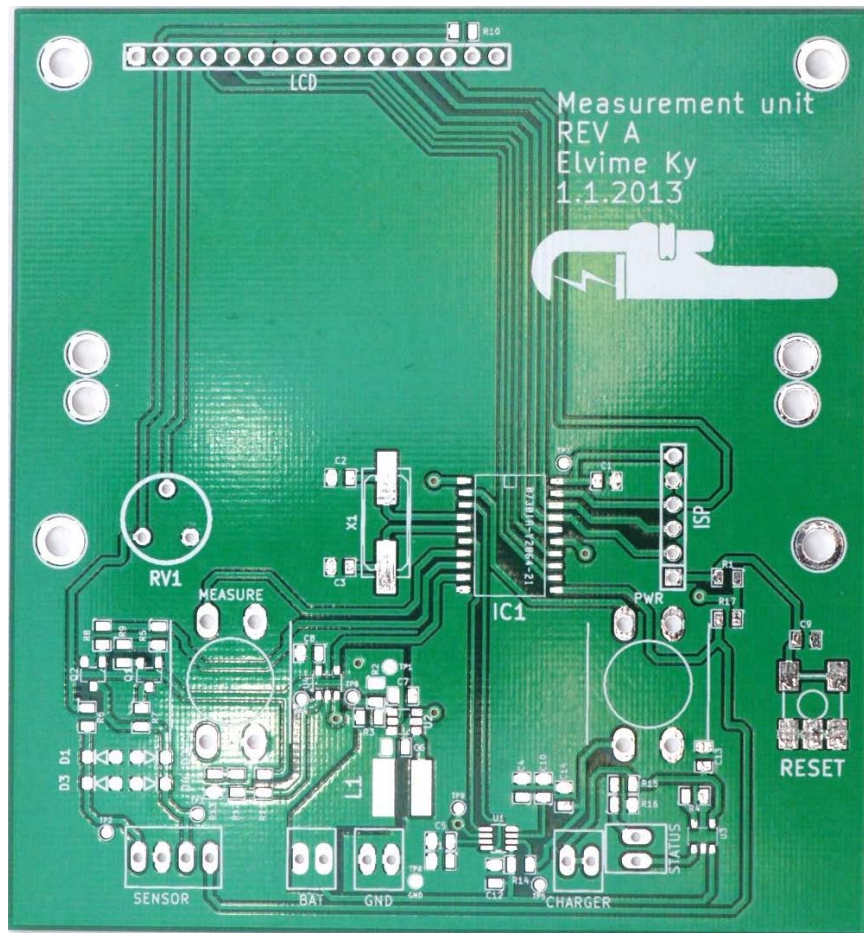
$$R_{PROG} = \frac{1000 V}{I_{REG}} \quad (9)$$

Kaavoissa 8 ja 9 I_{REG} on latausvirran maksimiarvo, ja R_{PROG} on asetusvastuksen arvo. Kaavan 9 avulla laskettiin 200 milliampeerin latausvirralle vastuksen arvoksi 5 k Ω , tämä vastusarvo ei kuitenkaan ole standardien mukainen vastusarvo. Vastuksen arvoksi valittiin 4,7 k Ω , koska suurempi latausvirta ei tässä sovelluksessa haitannut. Tällä vastusarvolla maksimilatausvirraksi tulee hieman yli 200 milliampeeria.

4.4 Piirilevyn suunnittelu

Kaikki laitteen kytkentäkaaviot ja layout-kuvat suunniteltiin käyttämällä avoimen lähdekoodin ohjelmistopakettia nimeltä KiCad. Tämä ohjelmisto sisältää kytkentäkaavion suunnitteluohjelman Eeschema, komponenttien ja moduulien yhdistämishjelman CvPcb sekä layoutkuvan suunnitteluohjelman Pcbnew. Syynä tämän kyseisen ohjelmiston valitsemiseen oli se, että ohjelmisto on ilmainen eikä sisällä rajoituksia piirilevyn koolle tai kytkentäkaavion sivumäärälle. Ohjelmiston mukana tulee suuri määrä valmiita komponentteja ja niitä pystyy helposti luomaan itse lisää. Tässä projektissa tarvitsi luoda uudet komponentit kaikille muille paitsi passiivikomponenteille ja mikrokontrollerille.

Piirilevyjen suunnittelun jälkeen ne tilattiin kiinalaiselta prototyypilevyjä valmistavalta yritykseltä. Piirilevyjen tilauksessa tapahtui viivästyksiä. Ensimmäiseksi sen takia, koska levyjen tilauksessa tapahtui virhe ja yritykselle ei toimitettu oikean tyyppisiä tiedostoja valmistusta varten. Toisen viivästyksen aiheutti kiinalainen uusivuosi, jonka takia valmistus oli pysähdyksissä kahden viikon ajan. Valmis piirilevy ennen komponenttien ladontaa on esitetty kuvassa 6.



KUVA 6. Valmis piirilevy

5 OHJELMISTO

Ohjelmiston kehitykseen ja toteuttamiseen oli tarkoituksena käyttää AVR Studio 4 -ohjelmistoa, joka on Atmelin itsensä kehittämä ilmainen ohjelma AVR-tuotteiden ohjelmistokehitystä varten. Ohjelmistokehityksen alussa päätettiin vaihtaa ohjelmisto Atmel Studio 6 -ohjelmaan. Syynä vaihdokseen oli se, että ohjelma on uudempi. Tällä tavoin on helpompi saada ohjelmisto toimimaan myös tulevaisuuden prosessoreilla ja kehitystyökaluilla. Ohjelmointiin käytettiin AVR Dragon ohjelmointilaitetta ja ISP-ohjelmointiprotokollaa.

Ohjelmisto koostuu kolmesta keskeytyspalvelusta ja pääohjelmasilmukasta. Keskeytyspalveluihin kuuluu: virtakytkimen keskeytyspalvelu, mittauskeskeytyspalvelu ja 10 millisekunnin välein tapahtuva ajastinkeskeytyspalvelu. Näistä käytetyin on ajastinkeskeytyspalvelu. Ajastinkeskeytyspalvelussa asetetaan lippubitit: näytön päivitystä, kytkinten lukemista ja näytön alkutekstin vaihtoa varten, keskeytyspalvelussa on myös laskuri, joka hoitaa automaattisen sammutuksen. Liitteessä 5 on esitetty ajastinkeskeytyspalvelun vuokaavio. Ajastinlaskurin lasketa perustuu puolen mikrosekunnin niin sanottuihin naksahduksiin, jolloin laskurin arvoa kasvatetaan.

5.1 Kytkinten toiminta

Kytkimen lukeminen tapahtuu tarkkailemalla lippubitin tilaa, jos lippubitti on loogisessa ykköstilassa, sen tila vaihdetaan loogiseksi nolatilaksi ja kytkimen tila luetaan muuttuun. Tämän jälkeen tehdään värähtelynpoiston tarvitsemat tehtävät. Alun perin tarkoituksena oli käyttää virtakytkintä näytöntaustavalon ohjaamiseen, mutta virtakytkinpiiri ei soveltunut tähän, joten päädyttiin käyttämään mittauspainikkeen pitkää painallusta tähän tehtävään. Mittauspainikkeen yli sekunnin kestävä painallus sytyttää tai sammuttaa näytöntaustavalon.

Mittauspainikkeen lyhyempi painallus käynnistää mittauksen, jos mittaus ei ole jo käynnissä. Ensimmäiseksi mittauslippubitin tila vaihdetaan, sen jälkeen muuttuun talennetaan sen hetkinen laskurin arvo, ja viimeiseksi syötetään anturille käyttöjännite. Tämän jälkeen jäädytään odottamaan kaappauskeskeytystä, jossa ensimmäiseksi otetaan ICR1-rekisterin arvo talteen muuttuun ja tarkastetaan, onko tapahtunut ylivuotoa, yli-

vuodon tapahtuminen havaitaan vähentämällä loppuarvosta alkuarvo. Ylivuodon tapahtuessa arvoja muutetaan lisäämällä niihin 30000 laskurin naksasta. Tämä arvo on valittu sen takia, koska se on maksimi laskurinarvon noin puolivälissä, mutta ei kumminkaan tarkalleen puolivälissä, koska siitä voisi syntyä uusi ylivuoto. Ylivuototarkastelun jälkeen muuttujaan tallennetaan loppuarvon ja alkuarvon vähennyslaskun tulos. Tulos kerrotaan sen jälkeen luvulla 50, jonka jälkeen muuttujassa on laskurin arvo mikrosekunteina kertaa sata. Seuraavaksi arvo jaetaan 22:lla, tämä arvo on latausvastuksen arvo jaettuna luvulla 10000. Tällä tavalla laskettuna tulokseksi saadaan kapasitanssin arvon pikofaradeina.

Ohjelmistossa on kalibrointitila, millä pystytään kalibroimaan anturin molemmat tilat. Kalibrointitilaan päästään pitämällä mittauspainike painettuna, kun laitteeseen kytketään sähkö. Kalibrointitilassa ensimmäiseksi mitataan anturin arvo, kun se on toisessa nesteessä tai kaasussa, tämän jälkeen mittaus suoritetaan toiselle nesteelle tai kaasulle, molempien arvojen mittauksen jälkeen arvoja vertaillaan ja arvoista suurempi tallennetaan toiseen EEPROM muisti paikkaan ja pienempi toiseen. Laitteen käynnistyessä arvot luetaan muuttujiin ja vähennetään toisistaan. Tätä tulosta käytetään anturin pinnankorkeuden mittauksen kalibrointi-arvona.

Virtakytkimen keskeytyspalvelu vastaa laitteen sammuttamisesta oikein, kun virtakytkinkontrolleri lähettää signaalin siitä, että virtakytkintä on painettu riittävän pitkään pohjassa. Sammutusrutiiniin kuuluu ainoastaan se, että tarkastetaan, onko EEPROM käytössä. EEPROM:in ollessa käytössä, odotetaan niin pitkään kunnes se ei ole enää käytössä, ja ajetaan KILL signaalia ohjaava mikrokontrollerin nasta alas.

5.2 Näytönohjaus

Näytönohjausohjelmisto koostuu kolmesta perusosasta: E-pulssin ohjaus, millisekunnin viive ja näytönohjaus. Lisäksi ohjelmistoon kuuluu näytön alustus ja näytönpäivitys aliohjelmat, jotka hyödyntävät perusosia näytönohjauksessa.

E-pulssin ohjaus ohjelma luo hetkellisen pulssin näytön E-nastaan, minkä aikana näytönohjainpiiri lukee D4-D7-nastoissa olevan tiedon sisäänsä. Pulssi sisältää pienen sisäisen viiveen, koska suora nastan tilanvaihto olisi liian nopea näytölle. Millisekunti

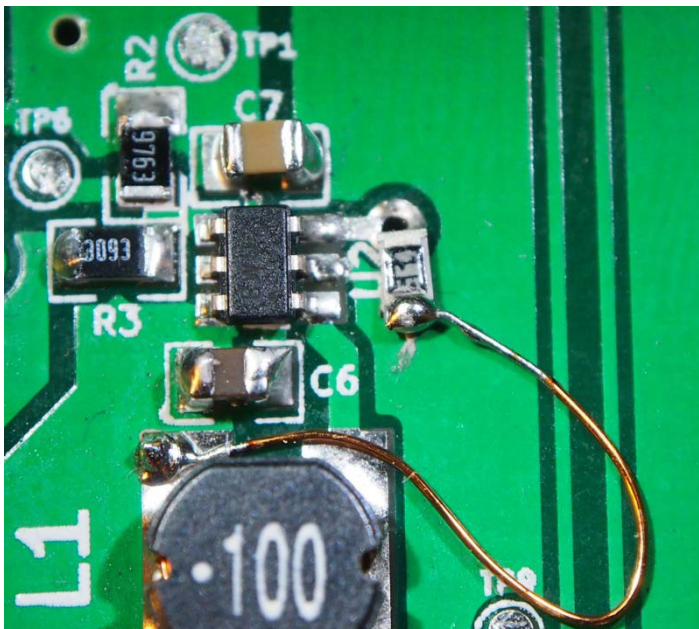
viive on 16 MHz kiteellä toimiva viive, minkä avulla luodaan muuttujassa olevan pituinen viive millisekunneissa. Näytönohjaus lähettää näytölle joko komennon tai sen hetkiseen osoitteeseen näytölle kirjoitettavan merkin.

Näytön alustus tekee näytönohjainpiirin vaatimat alustustoimenpiteet, tämä alustus kestää noin 60 ms johtuen näytön tarvitsemista viiveistä käynnistyksen jälkeen. Näytönpäivitysaliohjelmassa näytölle kirjoitetaan merkki kerrallaan näyttöpuskurista, kunnes tulee muistipaikka 16, jolloin kirjoitetaan merkki näytölle tai tehdään rivinvaihto riippuen siitä, onko rivinvaihto jo tapahtunut. Muistipaikan 32 tullessa näytönpäivitys, rivinvaihto ja merkinsijainti muuttujat nollataan, tämän jälkeen näytölle kirjoitetaan ykkösrivin ensimmäisen merkin osoite.

6 TESTAUS

Laitteiston testaus aloitettiin kokoamalla ensimmäinen prototyyppi mittalaitteesta. Samaan aikaan aloitettiin ohjelmiston lopullinen kehitystyö. Prototyypin kasauksen jälkeen havaittiin virtakytkimen toiminnassa ongelmia, virtakytkinpiiri ei kytkenyt hakkurivirtalähdettä päälle. Vian selvittäminen aloitettiin tutkimalla kytkentäkaaviota ja komponenttien datalehtiä. Tässä vaiheessa havaittiin, että hakkurivirtalähdeohjain MCP1640 ei sisällä sisäistä ylösvetovastusta käynnistysnastassa, joten tämä lisättiin piirilevylle jälkikäteen. Kuvassa 7 on esitetty tämä jälkikäteen lisätty vastus.

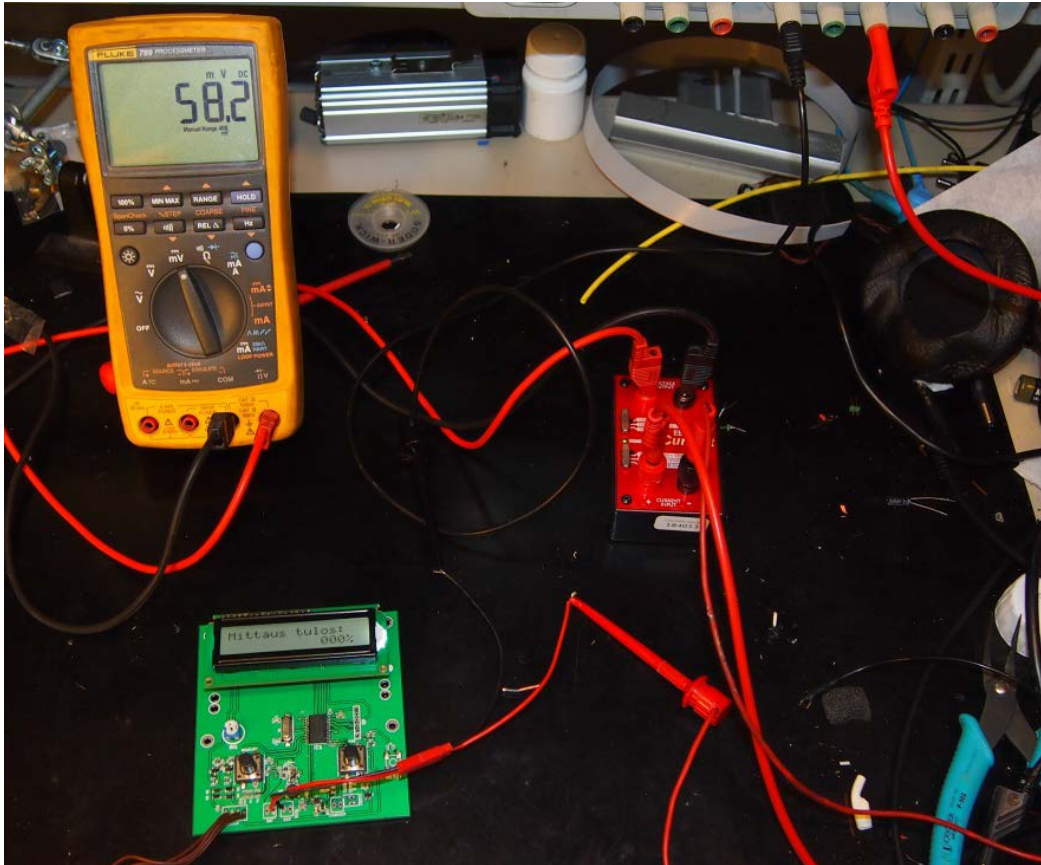
Seuraavaksi laitetta yritettiin uudestaan käynnistää, mutta havaittiin hakkurivirtalähteen pysyvän kokoajan päällä eli virtakytkinpiiri ei ajanut käynnistysnastan linjaa alas. Virtakytkinpiirin datalehdessä ei ollut tarkkaa mainintaa, mistä tämä johtuisi. Ongelmaksi todettiin se, että mikrokontrolleri luki samaa kytkintietoa kuin virtakytkinpiiri, joten tämän takia virtakytkinpiiri ei saanut ajettua oikeaa jännitetasoa virtakytkimelle kytkimen tilan lukemiseksi. Kytkimen ja mikrokontrollerin välinen piirilevynjohdin katkaistiin korjaukseksi.



KUVA 7. Kytkentään lisätty vastus

6.1 Virtamittaukset

Korjausten jälkeen mittalaite käynnistyi oikein. Seuraavaksi mitattiin mittalaitteen virrankulutus lepotilassa ja päällä ollessaan. Mittauksessa käytettiin Fluke 789 - yleismittaria ja μ Current-virranmittausadapteria. Kuvassa 8 on esitetty mittausjärjestely käytettyine mittalaitteineen.



KUVA 8. Virrankulutusmittausjärjestely

μ Current on yleismittareille tarkoitettu virtamittausadapteri pienille virroille, adapteri vähentää yleismittareissa olevan ongelman eli niin sanotun kuormajännitteen vaikutusta. Kuormajännite aiheuttaa jännitehäviötä mitattaessa pieniä virtoja. Fluke 789 - yleismittarilla kuormajännite on 14 millivoltia per milliampeeri, 30 milliampeerin mitausalueella (Fluke 789 käyttöohje). Tällä arvolla voidaan laskea kuormajännitteen vaikutus 30 milliampeerin virralla olevan noin 420 millivoltia, näin suuri jännitteen pudotus vaikuttaa laitteen toimintaan ja virrankulutukseen. Taulukossa 1 on esitetty μ Current virtamittausadapterin mittausalueet ja niiden kuormajännitteet, näillä arvoilla voidaan laskea vastaavan 30 milliampeerin kuormajännitteen olevan μ Currentilla 2,1 millivoltia

TAULUKKO 1. μ Current virtamittausadapterin mittausalueet (Eevblog μ Current)

Mittausalue	Kuormajännite	Mittayksikkö
$\pm 0-300$ mA	70 μ V / mA	1 mV / mA
$\pm 0-1000$ μ A	10 μ V / μ A	1 mV / μ A
$\pm 0-1000$ nA	10 nV / nA	1 mV / nA

Virrankulutus mitattiin hakkuriohjaimen viidellä eri ylösvetovastuksella, näiden arvot olivat 10, 20, 100, 220 ja 560 k Ω . Syynä tähän oli se, että pystyttäisiin näkemään, kuinka suuri vaikutus on ylösvetovastuksen arvolla laitteen virrankulutukseen. Mittauksessa laitteelle syötettiin vakiojännite 3,98 voltia laboratoriovirtalähteellä. Näiden mittauksien tulokset ovat taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Mittalaitteen virrankulutus

Vastusarvo / k Ω	Lepotila / μ A	Päällä / mA	Päällä + Taustavalo / mA
10	403,5	38,4	58,7
20	205	38,4	58,7
100	46,3	38,4	58,5
220	25,3	38,7	58,9
560	13,9	38,9	58,7

Mittaustuloksista selviää, kuinka suuri vaikutus ylösvetovastuksen arvolla on laitteen lepotilan virrankulutukseen. Mittauksien perusteella ylösvetovastuksen resistanssiksi tulisi valita mahdollisimman suuri, koska tällöin lepotilan virrankulutus saadaan pieneksi ja tämän seurauksena akun kesto aika pitenee. Vastuksen arvolle tosin on maksimi raja, jonka jälkeen hakkuriohjain ei enää havaitse käynnistyssignaalia. Tämä raja riippuu komponentin ominaisuuksista, tätä arvoa ei mitattu, koska jo 560 k Ω :illa saavutettu virrankulutus on riittävän matala.

Virtamittauksien jälkeen mitattiin hakkurivirtalähteen säteilemä aaltomuoto oskilloskoopilla, tämän mittauksen tiedot ovat liitteessä 6. Mittauksen perusteella hakkurivirtalähteen toimintataajuus on datalehdessä ilmoitetun mukainen, missä sanotaan taajuuden

olevan tyypillisesti 500 kHz. Mittaustuloksista käy myös ilmi, että mitä lähempänä tulojännite on viittä voltia, sitä pienempi on hakkurin pulssisuhde.

Laitteen toiminta testattiin mittaamalla vesiastian pinnankorkeutta, tässä testauksessa öljyn tilalla käytettiin ilmaa. Testauksessa havaittiin laitteen toimivan odotetulla tavalla ja mittaavan vedenkorkeuden riittävällä tarkkuudella. Laitteiston testauksessa myös havaittiin ohjelmistossa virhe värähtelypoiston toiminnassa. Tämä virhe aiheutti sen, että ohjelmisto havaitsi painikkeen painalluksen useamman kerran. Tästä ongelmasta oli suurin haitta kalibrointitilassa, jossa molemmiksi kalibrointiarvoiksi asetui vesi. Syynä värähtelypoiston toimimattomuuteen oli se, että värähtelypoistolaskuria ei alustettu oikein.

7 YHTEENVETO

Työn aikataulu venyi johtuen suurelta osalta piirilevyjen valmistusviivästyksistä, nämä viivästyksiset olisi ollut helppo välttää tarkastamalla tiedostot useampaan kertaan ja tekemällä piirilevysuunnittelu hieman nopeammin. Nopeampi suunnittelu tosin olisi saattanut lisätä virheitä, joita tuli jo nykyiselläkin tahdilla.

Virtakytkimen toiminta olisi tarvinnut testata huomattavasti paremmin ennen lopullisen piirilevyn tilausta. Tosin suurin syy tähän suunnitteluvirheeseen oli se, että virtakytkimen datalehdessä ei kerrottu, että kytkimen signaalia ei saa lukea toisella piirillä. Toinen suuri virhe oli hakkuriohjaimen ylösvetovastuksen unohtaminen, tämä oli puhtaasti huolimattomuus- tai ajattelemattomuusvirhe, koska virtakytkimen datalehdessä ilmoitetaan, että hakkuriohjain tarvitsee joko sisäisen tai ulkoisen ylösvedon. Nämä virheet onneksi saatiin ratkaistua helposti ja pienellä vaivalla. Näiden seurauksena datalehtien tarkka lukeminen korostuu.

Laitteen suunnittelun aikana huomioitiin myös kustannuksia mahdollisen lopullisen tuotteen kannalta. Laitteen suunnittelun aikana piirejä vaihdettiin halvempiin, mutta ei huonompiin piireihin, vaan jopa tavallaan tähän käyttötarkoitukseen paremmin soveltuviin. Lopullinen laitteen kustannus tulisi vielä laskea ennen suurempaa kehitystä, jotta voidaan arvioida tuotteen mahdollista kaupallista potentiaalia.

Tuotteen mahdolliset markkinat ovat hyvin laajat, sillä vaikka tämä on hyvin tarkasti rajattu käyttötarkoitus, samalla laitteella voidaan mitata minkä tahansa nesteen pinnan korkeutta. Yhtenä mahdollisuutena on tarkkailla, esimerkiksi huviveneissä olevien juomavesisäiliöiden pinnankorkeutta tai muuta vastaavaa. Tämän opinnäytetyön rajaaman sovelluksenkin käyttötarkoitus on tarpeellinen ja tarpeellisuus kasvaa todennäköisesti samassa suhteessa kuin öljynerottimia koskeva ympäristölainsäädäntö mahdollisesti tiukentuu.

Laitteen toiminnan lopullinen kenttätestaaminen jäi toteuttamatta tämän työn aikana, mutta alustavat testit osoittavat, että laitteen pitäisi kenttäolosuhteissakin toimia odotetusti ja luotettavasti. Laitteen toiminnallisuus vastasi sitä mitä lähdettiin toteuttamaan, mutta luonnollisesti kehitystarpeita löytyi.

7.1 Kehitystarpeet

Laitteen virtalähteeksi tulee ehkä lopulliseen versioon valita, alkaliparistot tai muut vastaavat. Tällä tavoin siihen on helpompi tarvittaessa vaihtaa paristot, jos ne ovat tyhjä ja laitetta tarvitaan samalla hetkellä. Laitteeseen tulisi myös lisätä ominaisuutena virtalähteen varaustilan tieto näytölle. Tämä aiheuttaa myös muutoksen mikrokontrolleriin tai ulkoisen A/D-muuntimen lisäyksen, koska ATtiny 4313 ei ole varustettu sisäisellä A/D-muuntimella. Mikrokontrollerin mahdollinen vaihdos antaa myös mahdollisuuden lisäominaisuuksille, kuten esimerkiksi mittaustietojen siirtämisen tietokoneelle tai muulle laitteelle. Jos mikrokontrolleri vaihdetaan, tulisi valita sellainen mikrokontrolleri, joka on varustettu suuremmalla ohjelmamuistilla kuin ATtiny 4313. Tämä kyseinen mikrokontrolleri tuli jo tämän työn ohjelmakoodilla noin 80 prosenttisesti käytettyä, joten siinä ei ole varaa suurille muutoksille.



KUVA 9. Valmis mittalaite koteloituna

Laitteen fyysinen koko on yksi suuri kehitystarve. Kotelointi aiheutti mittalaitteen koon kasvamisen kohtuullisen suureksi, joka aiheuttaa sen, että se ei ole niin helposti kuljet-

tava kuin haluttaisiin. Mittalaitteen kytkimet tarvitsee suojata jollakin tavalla, että niistä saadaan mahdollisimman kosteutta sietävät, koska laitetta tullaan käyttämään likaisissa ja kosteissa ulkotiloissa. Kuvassa 9 on prototyypimittalaite koteloituna ja käyttövalmiina.

Tässä opinnäytetyössä ei saatu toteutettua anturin lopullista rakennetta ja kotelointia, vain ainoastaan prototyyppi anturista. Anturin tiedonsiirto tarvitsee mahdollisesti vaihtaa sarjamootoiseksi, koska alustavissa testeissä havaittiin muutoksia mittaustuloksissa johtuen anturin pitkästä liityntäkaapelista. Lopulliselle anturille on suunnittelu aloitettu ja se tullaan toteuttamaan kesän 2013 aikana, tällöin pystytään myös toteuttamaan lopullinen kenttätestaus.

Työssä oli suuria haasteita, mutta myös suuria onnistumisia. Tämän tyyppinen laite oli mielenkiintoinen toteuttaa, koska se sisälsi omat haasteensa. Liikuteltavan laitteen virrankäyttö tuli olla mahdollisimman pieni, että akku ei lopu kesken ja laitteen tarvitsi sisältää automaattinen virrankatkaisu. Tällä työllä lisättiin kiinnostustani analogisiin kytkentöihin.

LÄHTEET

Wavin-Labko Europek NS3. Luettu 3.4.2013

<http://www.wavin-labko.fi/@Bin/418829/EuroPEK+Roo+NS3+FIN.PDF>

SFS Ry 2006. SFS-käsikirja 39-2. 1. painos.

IEC 2011. Equipment protection by intrinsic safety ”i”. IEC 60079-11. 6. painos.

Atmel ATtiny4313. Luettu 26.3.2013

<http://www.atmel.com/images/doc8246.pdf>

Microchip Technology MCP1640. Luettu 20.3.2013

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22234B.pdf>

Linear Technologies LTC2950. Luettu 20.3.2013

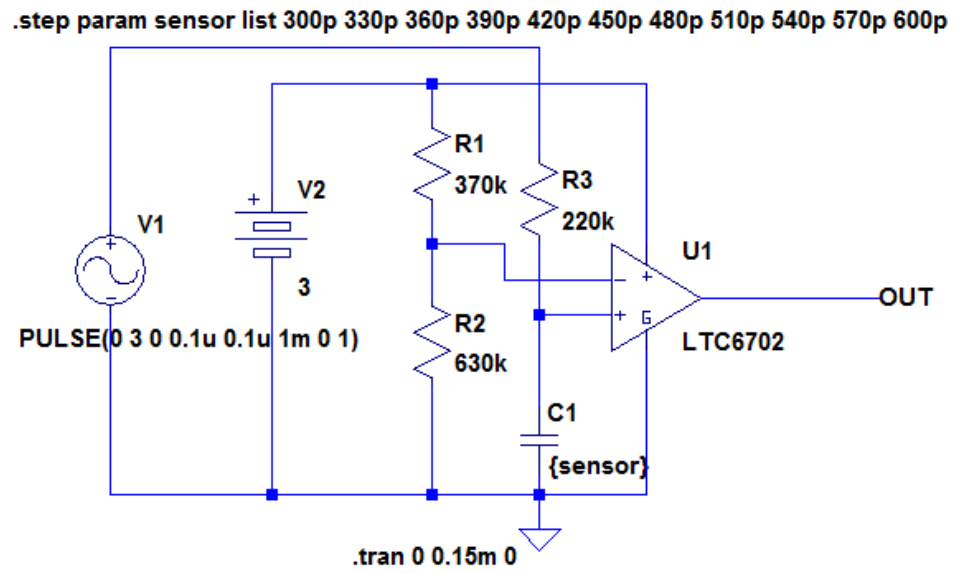
<http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/295012fd.pdf>

David Jones. Eevblog μ Current. Luettu 8.4.2013

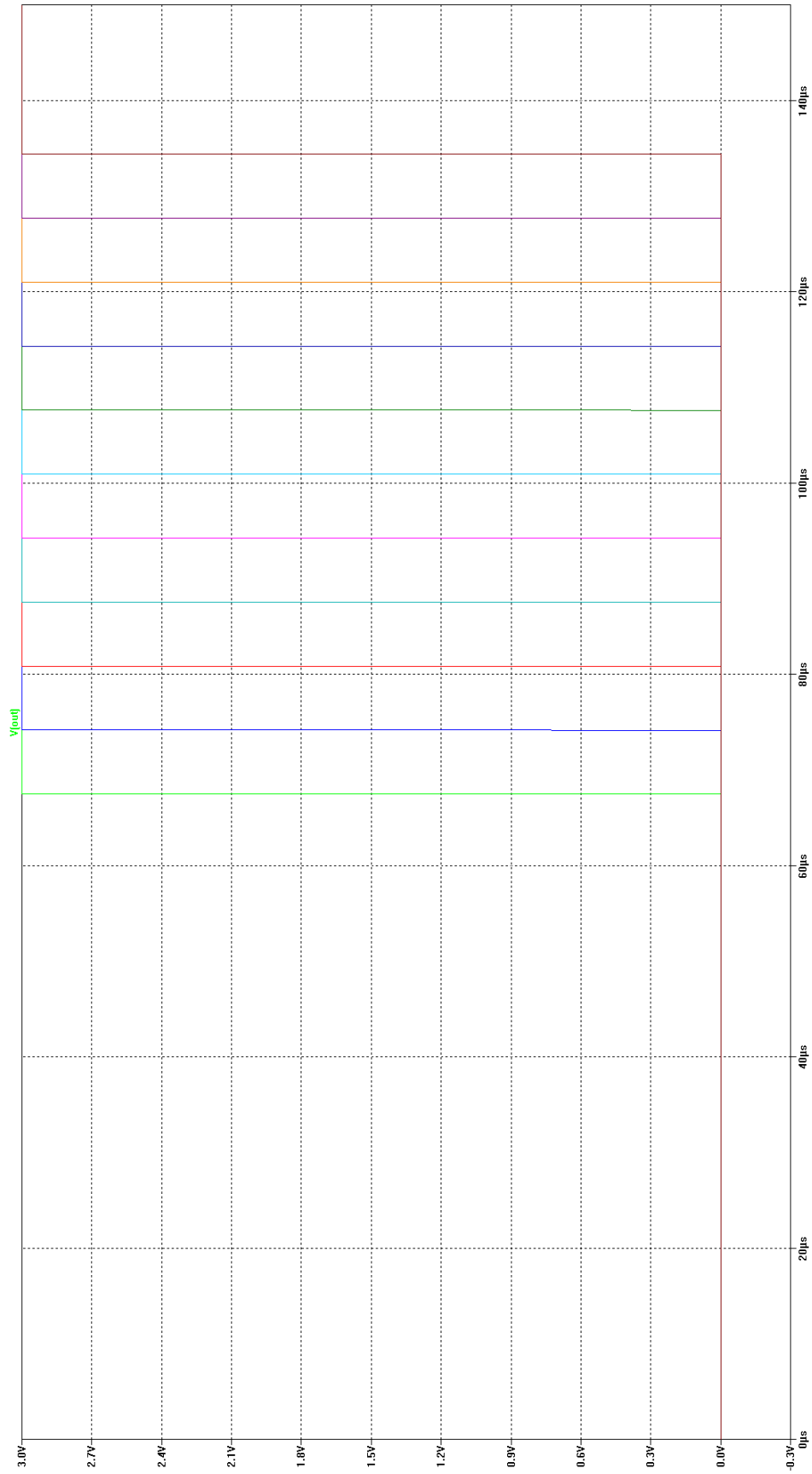
<http://www.eevblog.com/projects/ucurrent/>

LIITTEET

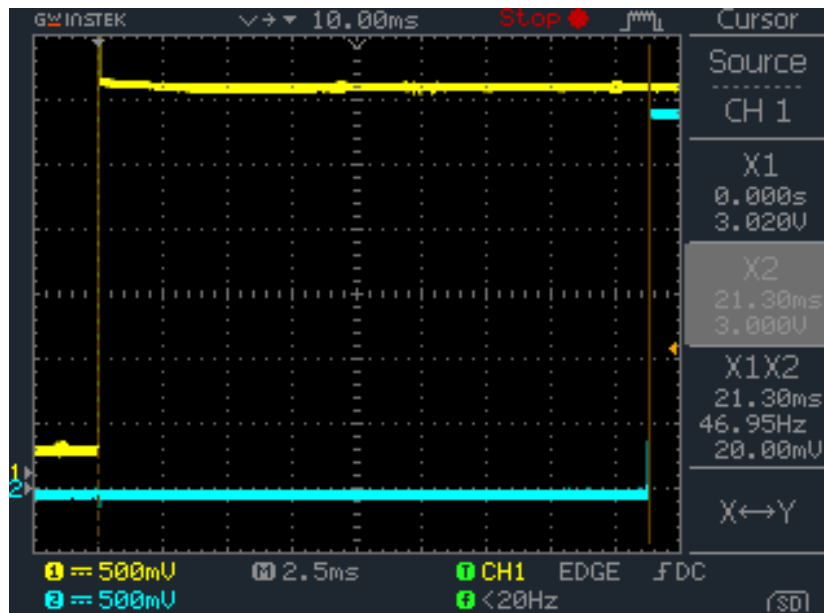
Liite 1. Anturielektronikan LTspice-simulointimalli



Liite 2. Anturielektroniikan LTspice-simulointitulokset



Liite 3. 100 nF kondensaattorin mittaustulokset



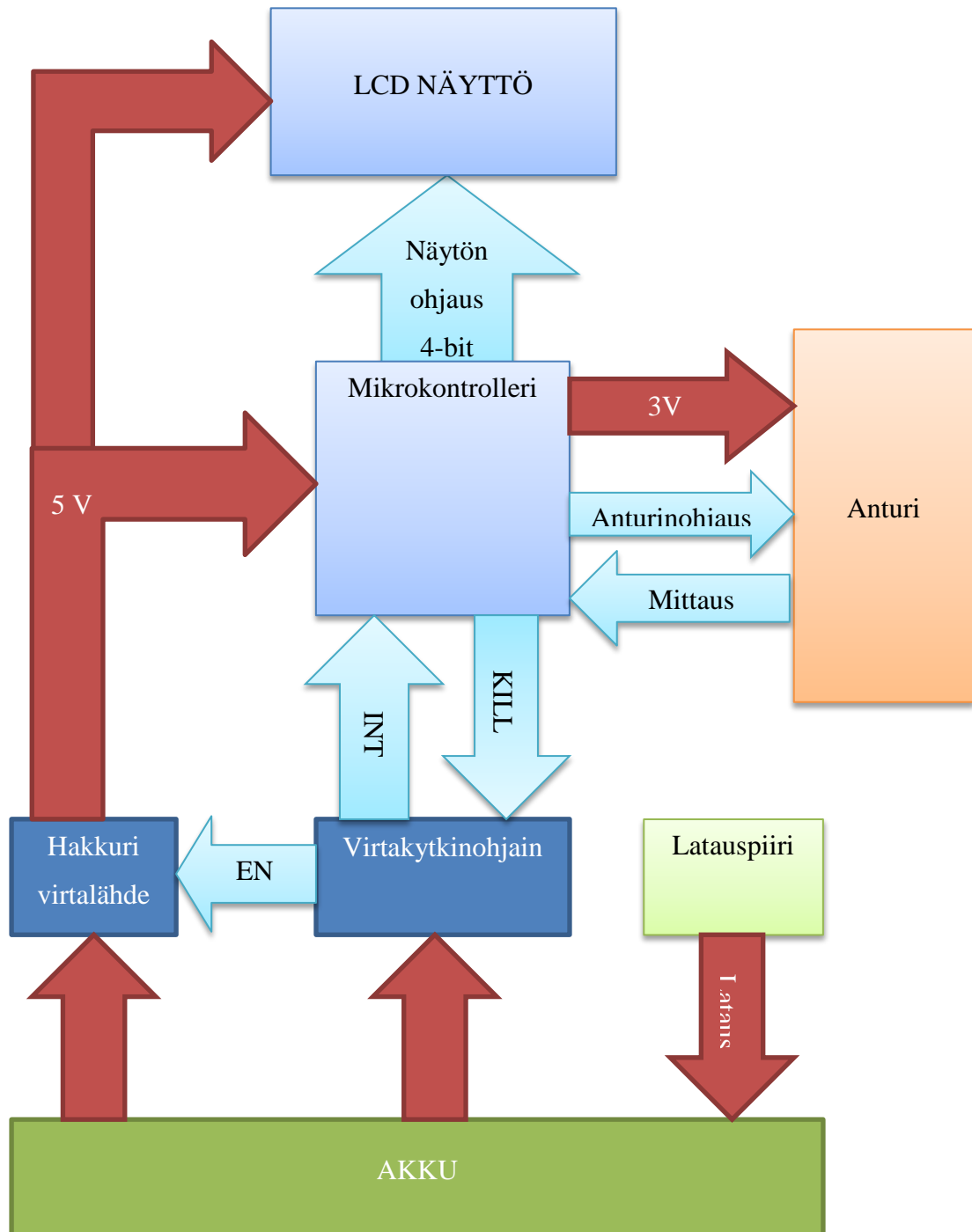
Aikavakion pituus 21,3 ms.

Latausvastuksen arvo 220 k Ω .

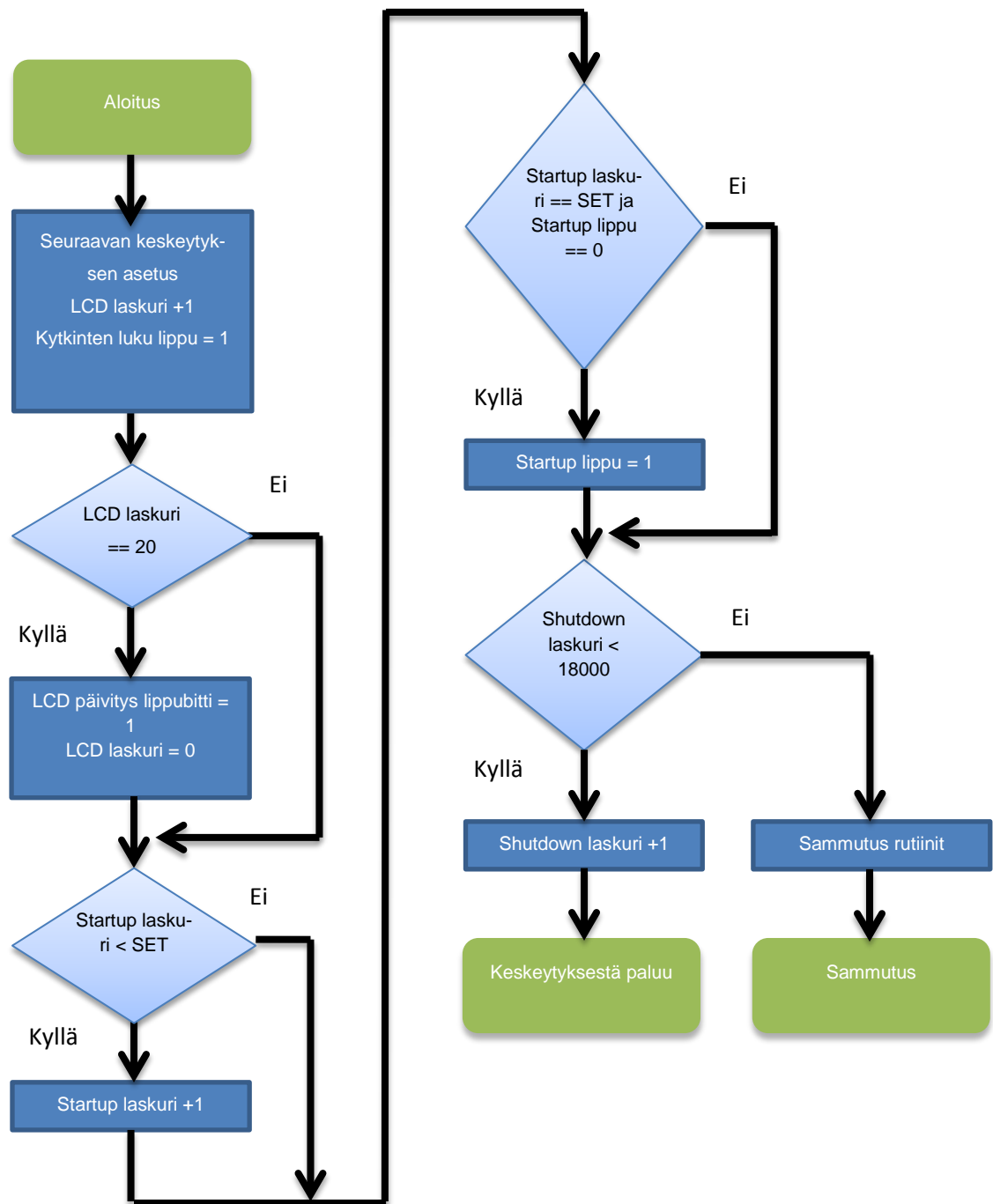
Kondensaattorin arvon laskukaava:

$$\frac{\tau}{R} = C = \frac{21,3 \text{ ms}}{220 \text{ k}\Omega} = 96,8182 \text{ nF} \approx 96,8 \text{ nF}$$

Liite 4 Mittalaitteen elektronikan lohkokaavio

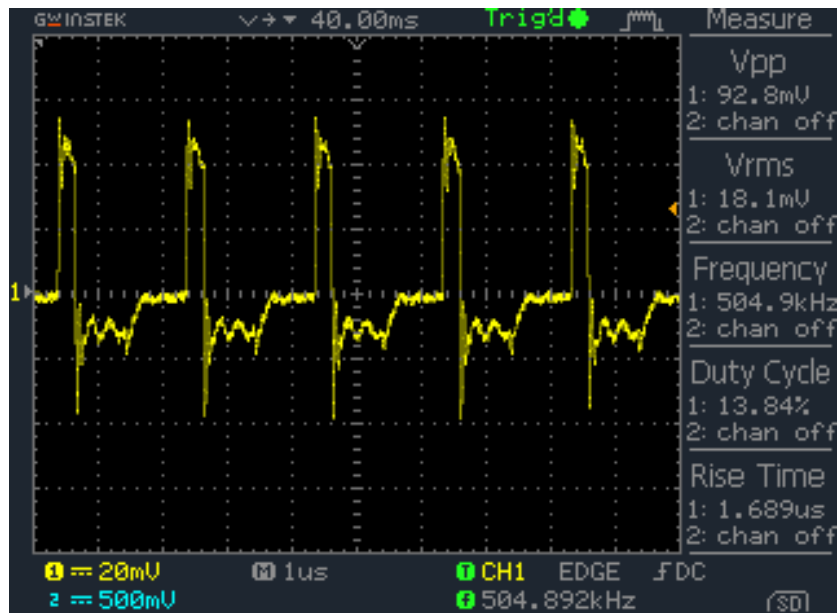


Liite 5 Ajastinkeskeytysohjelman vuokaavio

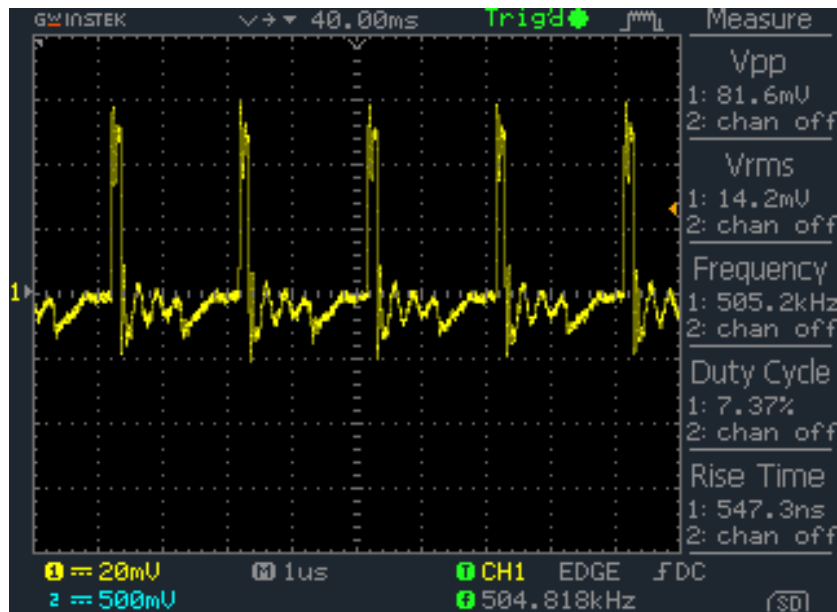


1(2)

Liite 6. Hakkurivirtalähteen toimintataajuuden mittaus

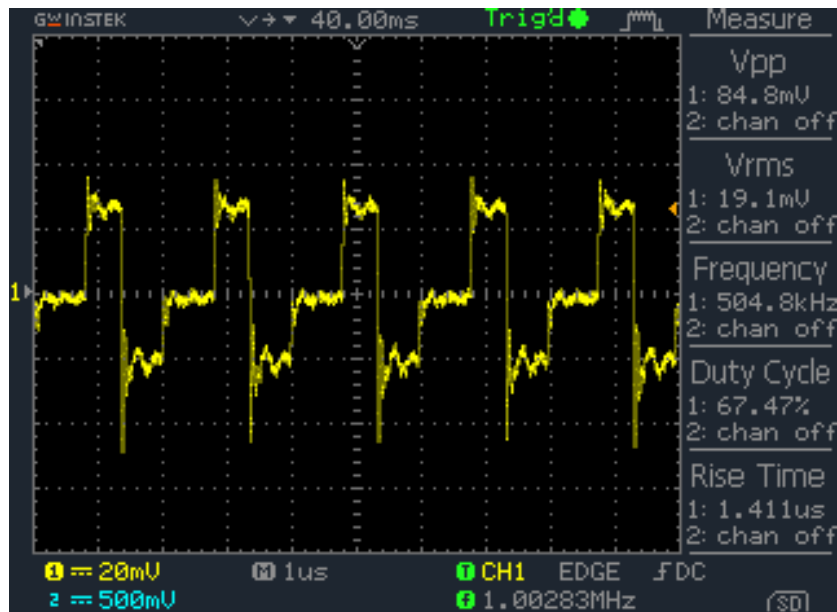


Hakkurin säteilemä aaltomuoto 4 voltin käyttöjännitteellä

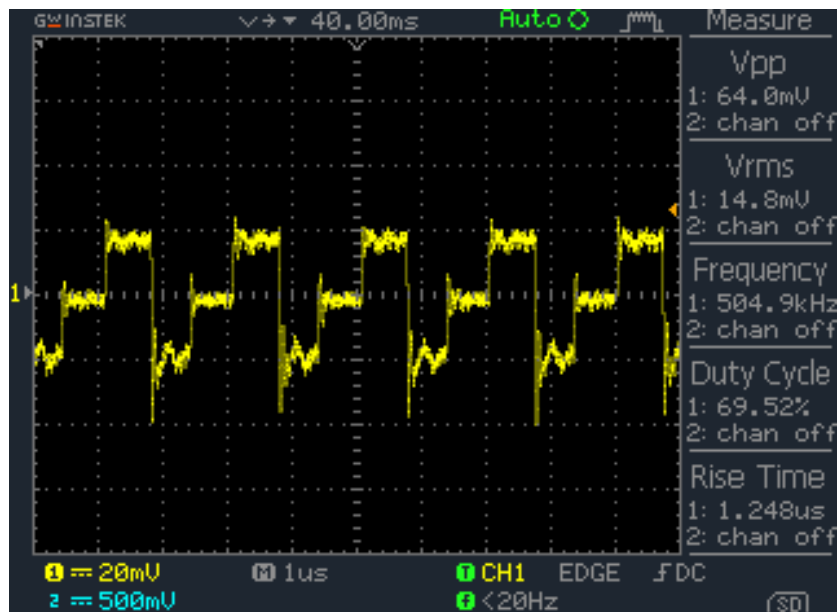


Hakkurin säteilemä aaltomuoto 4,68 voltin käyttöjännitteellä

2(2)



Hakkurin säteilemä aaltomuoto 2,83 voltin käyttöjännitteellä



Hakkurin säteilemä aaltomuoto 2,4 voltinkäyttöjännitteellä