

PULSSIGENERAATTORI LPS-225 - LABORATORIOTEHOLÄHTEELLE

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikka
Tietokone-elektroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2007
Peter Tuoriniemi

Lahden ammattikorkeakoulu

Tietotekniikka

TUORINIEMI, PETER:

Pulssigeneraattori LPS-225-laboratorio-
teholähteelle

Tietokone-elektroniikan opinnäytetyö, 31 sivua, 13 liitesivua

Kevät 2007

TIIVISTELMÄ

Työssä on tarkoitus tutkia Teknoware Oy:n laboratoriossa käytössä olevan LPS-225-laboratorioteholähteen soveltuvuutta tuottamaan nopeita nousevia ja laskevia jännitepulsseja. Jos kyseinen laboratorioteholähde soveltuu kyseiseen tehtävään, on tarkoitus suunnitella ja valmistaa kauko-ohjaus, jolla voidaan ohjata laboratorioteholähdettä tuottamaan haluttuja jännitepulsseja. Kyseiset pulssit testaavat loisteputkille tarkoitettujen prototyypivaihtosuuntaajien vikasietoisuutta kenttäolosuhteissa tapahtuvia jännitteenmuutoksia vastaan, jotka on määritelty standardeissa EN 50311, EN 50155 ja RIA Specification No.12.

Esitutkimuksessa tutkittiin, miten LPS-225-laboratorioteholähde käyttäytyy kauko-ohjattuna. Työssä havaittiin, että laboratorioteholähteen syöttämä jännite muuttuu tarpeeksi nopeasti, jotta standardien mukaiset testit voitaisiin suorittaa.

Laitteesta tehtiin ensimmäinen versio mahdollisimman pian, jotta ohjelmiston kehittäminen voitaisiin suorittaa mahdollisimman nopeasti. Ohjelmiston oltua toiminnallisesti valmis suunniteltiin toinen versio laitteesta, jossa olisi ensimmäisen version virheitä korjattu. Ongelmia muodostui komponenttien saatavuudessa, mutta ongelmat ratkesivat käyttämällä vastaavia osia ja tekemällä ohjelmistoon tarvittavat muutokset. Lopullinen ohjelmakoodi saatiin valmiiksi, ja testit voitiin suorittaa.

Testien aikana havaittiin laboratorioteholähteiden olevan liian lähellä äärirajoja testattaessa nopeiden ja suurten jännitepulssien tuottamista eri vaihtosuuntaajilla ja eri kuormilla. Ratkaisuja yritettiin tutkia ongelman kiertämiseksi, mutta lopulta toiminto päätettiin hylätä. Koska muut testin osa-alueet riittävät ja kattavat tarpeeksi suuren osan standardien vaatimuksista, voitaisiin laite ottaa käyttöön.

Avainsanat: laboratorioteholähde, testaus, kenttäolosuhteet, jännitepulssi

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

TUORINIEMI, PETER:

Pulse generator for LPS-225 laboratory
power supply

Bachelor's Thesis in Computer Electronics, 31 pages, 13 appendices

Spring 2007

ABSTRACT

The aim of this thesis was to determine if LPS-225 laboratory power supply could be used to generate rapidly alternating voltage pulses. LPS-225 laboratory power supply is used in the laboratory of Teknoware Oy. If the power supply is suitable for such use the next step is to design and manufacture a remote control. The remote control will be used to control the power supply to generate certain voltage pulses. The pulses will test the fault tolerance of prototype electronic inverters for fluorescent lamps. The pulses will be simulating the field conditions where the electronic inverters will be when customers use the products. Test methods are described in EN 50311, EN 50155 and RIA Specification No.12 standards.

In the preliminary study LPS-225 was tested to find out how it acts when remotely controlled. It was found out that the voltage generated by the power supply varies fast enough to be used for testing and the standards will be met.

The first version of the device was made as soon as possible so that software development could be performed as early as possible. When the software was functional, the second version of the device was made, where the design faults were fixed. There were some problems with component availability. Luckily, using other pin-compatible components solved the problems. Only a few modifications needed to be done to the software. When the software was finished, tests could be done.

During the tests the power supply was found to be too close to its limits, when the power supply was tested for fast and high voltage pulses with various voltage inverters and with various loads. Solutions to the problem were sought but finally the function was removed from the device because all other sections of the tests were acceptable. Because most tests could be done and enough standards could be met, the device was ready to be used.

Key words: laboratory power supply, pulse generator, testing, voltage pulse

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TAUSTOJA	2
	2.2. LPS-225-laboratorioteholähde	3
	2.3. Standardit	3
	2.4. Resurssit	5
	2.5. Testilaitteen tavoitellut ominaisuudet	5
3	SUUNNITTELU & VALMISTUS	6
	3.1. Ideoista toteutukseen	6
	3.2. Mikrokontrolleri	6
	3.3. Multiplekserit	8
	3.4. DA-muuntimet	8
	3.5. Käyttöliittymä	9
	3.6. Ohjelmointi	10
	3.7. Piirikaavio ja piirilevy	11
4.	TYÖN EDISTYMINEN	13
	4.1. Multiplekserit	13
	4.2. DA-muuntimen toiminta ja kytkentä	15
	4.3. Painonapin värähtelyt	17
	4.4. Piirilevy	18
	4.5. Mikrokontrolleri & ohjelma	20
	4.6. Laitteen toiminta & ongelmat	25
5	YHTEENVETO	29
	LÄHTEET	30
	LIITTEET	32

LYHENNELUETTELO

DA = Digital/Analog

DC = Direct Current

EMC = ElectroMagnetic Compatibility

ESD = Electrostatic discharge

I/O = Input/Output

ISP = In-System Programmable

PWM = Pulse Width Modulation

SPI = Serial Peripheral Interface

USB = Universal System Bus

Ledi = LED = Light Emitting Diode

1 JOHDANTO

Työ tehtiin Lahdessa Ilmarisentiellä sijaitsevan Teknoware Oy:n toimesta. Teknoware Oy on vuonna 1972 perustettu valaisintuotteisiin erikoistunut yritys. Erikoisosaamisena yrityksellä ovat elektronisten muuttajien (invertteri, konvertteri) suunnittelu ja valmistus. (Teknoware Oy 2007a.) Nykyisin Teknoware Oy kuuluu Teknopower Oy:n hallinnoimaan konserniin, johon kuuluu myös Ellego Powertec Oy (Teknopower & Mattila 2007). Tuotannosta yli 70% menee vientiin (Teknoware Oy 2007b.) Teknoware Oy työllistää n. 180 henkilöä ympäri maailmaa. (Mattila 2007.)

Teknoware Oy valmistaa valaisimia ja valaisimien elektroniikkaa seuraaviin kohteisiin (Teknoware Oy 2007c):

- junien sisävalaistus
- linja-autojen sisävalaistus
- kiinteistöjen turvavalistus
- laivojen turvavalistus
- valokuituvalaistus

Teknoware Oy:n laboratoriossa suunniteltavien tuotteiden tulisi läpäistä tietyt testit ennen kuin tuotteet siirtyvät sarjatuotantoon. Eräs vaatimus tuotteilla on kestää normaalin käytön luomat olosuhteet. Kenttäolosuhteissa eräs laitteita rasittava tekijä on elektronisten tuotteiden saama DC-käyttöjännite, joka ei aina ole täysin tasaista. Laboratoriosta puuttuu käyttöjännitteen testauksen testausväline, eli testi-laite, jolla tuotteeseen lisätään syötettävään käyttöjännitteeseen tarvittavia jännite-

pulsseja. Tarvitaan keino tuottaa tietyn ajan välein yli- ja alijännitepulsseja käyttöjännitteeseen, joilla testataan tuotteiden vikasietoisuus.

Työssä on tarkoitus tutkia, voisiko LPS-225-laboratorioteholähdettä käyttää nopeiden jännitepulssien tuottamiseen. Jos kyseinen laboratorioteholähde kykenee täyttämään vaatimukset, voitaisiin sitä käyttää prototyyppiasteella olevien tuotteiden testaukseen. Tavoitteena olisi suunnitella ja valmistaa pulssigeneraattori, joka tuottaisi haluttuja jännitetasoja automaattisesti.

LPS-225-pulssigeneraattorilla on tarkoitus testata vaihtosuuntaajien standardien täyttymistä. Standardien täyttymisellä on tarkoituksena varmistaa, että kaikki tuotteet täyttäisivät samat vaatimukset ja siten helpottaisivat asiakkaan valintoja uuden tuotteen hankinnassa. Laitteen suunnittelussa on pyritty tuottamaan mahdollisimman helppokäyttöinen laite. Tässä kirjallisessa osuudessa tullaan tarkastelemaan tarkemmin kuinka laite syntyi ideasta valmiiksi testilaitteeksi.

2 TAUSTOJA

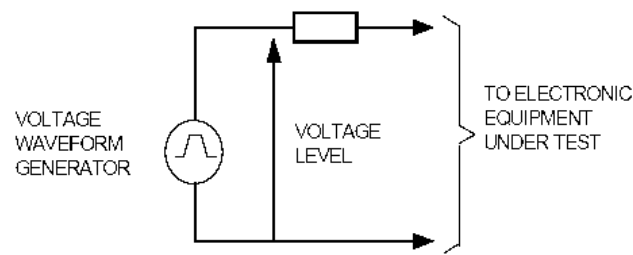
Laitteella on tarkoitus testata Teknoware Oy:ssä valmistettavien vaihtosuuntaajien kestävyyttä kenttäolosuhteissa. Vaihtosuuntaajat toimivat jännitteen muuttajina syöttöjännitteen ja valonlähteen välillä (Teknoware Oy 2007b). Vaihtosuuntaajilla tuotetaan tasajännitteestä loisteputkille sopivaa korkeajännitteistä ja korkeataajuisia (n. 30 – 60kHz) jännitettä. Suunniteltavalla testauslaitteella vaihtosuuntaajien kestävyyttä testataan simuloimalla erityisesti junien sähkönsyötön olosuhteita. Junissa vaihtosuuntaajille syötetään tasajännitettä, joka ei ole täysin tasaista kaikissa tilanteissa. Jännitteessä saattaa esiintyä ajoittaisia yli- tai alijännitepiikkejä, joita vaihtosuuntaajien tulee kestää vahingoittumatta.

2.2. LPS-225-laboratorioteholähde

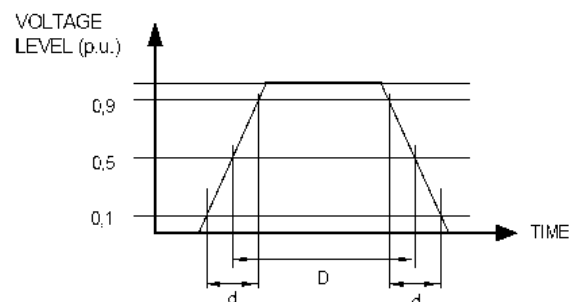
Suomalaista alkuperää oleva LPS-225-laboratorioteholähde on IL-Power:n valmistama laboratorioteholähde. IL-Power on Efore Oyj:n omistama tytäryhtiö (Efore 1998 Konsernirakenne ennallaan). Laboratorioteholähteen syöttämä jännite voidaan valita 0...150 voltin väliltä. Lähtevää virtaa voidaan rajoittaa 0...4 ampeerin alueella. Ottoteho on maksimissaan 280 wattia, joka rajoittaa virranantokykyä syötettävän jännitteen kasvaessa. LPS-225-laboratorioteholähteitä voi ketjuttaa sarjaan, jolloin yhteinen syötettävä jännite on laboratorioteholähteiden jännitteiden summa. LPS-225:een on saatavilla lisävarusteena erotusvahvistin, jolla kauko-ohjaus voidaan suorittaa. Kyseessä olevan laboratoriovirtalähteen syöttämää jännitettä voidaan säätää käsin sekä kauko-ohjatusti 0...5voltin jännitteellä. (LPS-225 laboratorioteholähde, 2-3.) Yrityksessä on valmistettu omia kauko-ohjausliitäntöjä, mutta kyseiset liitännät eivät ole galvaanisesti erotettu laboratorioteholähteen muusta elektroniikasta. Ongelmia ilmeni ketjuttaessa laboratorioteholähteitä sarjaan ja ohjaamalla yrityksen omien kauko-ohjausliitäntöjen kautta useampaa laboratorioteholähteitä yhtä aikaa. LPS-225:n valmistajan omaa kauko-ohjausta käytettäessä ongelmia ei esiintynyt.

2.3. Standardit

Testilaitteen perustana olevat standardit ovat EN 50311, EN 50155 ja RIA Specification No.12. Standardit määrittelevät kyseessä olevaan työhön testauskytkennän, jota esittää oheisen kuvio 1:n (a)-kohta. Pulssin muotoa voi tarkastella kuvio 1:n (b) –kohdassa. Lisäksi testattavat jännitetasot, jännitteenvaihtelut, pulssin kestot ja pulssien esiintymistiheydet määritellään standardissa.



(a) TEST CIRCUIT



(b) TEST WAVEFORM

Voltage level (minimum)	Duration d (maximum)	Duration D (maximum)	Series resistor R_s (Tol. $\pm 10\%$)
$1,4 U_n$	0,1 s	1,0 s	1Ω

KUVIO 1. Standardin määrittelemä kytkentä, pulssi ja pulssin kestot (EN50155, 2001, 35)

Muissa standardeissa on samannäköinen kytkentä kuin kuvio 1(a):ssa. Pulssien ominaisuudet ja sarjavastuksen arvo muuttuvat. Kuvio 2:ssa RIA:n määrittelemät testiarvot.

Wave Form	Type of Disturbance	Voltage Level U (Minimum)	Duration d (Maximum)	Duration D (Minimum)	Series Resistor R_s (Tol $\pm 10\%$)
A	Supply Related Surge	$3.5 \times V_c$	2.0 ms	20 ms	0.2Ω
B		$1.5 \times V_c$	0.1 s	1.0 s	0.2Ω

KUVIO 2. Standardin määrittelemän pulssin ominaisuudet (RIA Specification No.12, 1984, 7)

Esiintymistiheydeksi standardit määrittelevät, että pulssien tulisi esiintyä alle minuutin välein.

2.4. Resurssit

Laite tulisi valmistaa mahdollisimman pitkälle käyttäen Teknoware Oy:n oman varaston osilla. Työssä tulee käyttää mahdollisimman paljon yrityksen omia laitteistoja suunnittelussa ja testauksessa. Piirilevy tulitaisiin tekemään jyrshintäkoneella, joka asettaa omia rajoituksiaan.

2.5. Testilaitteen tavoitellut ominaisuudet

Kyseessä olevassa työssä valittiin nimellisjännitetasoiksi yleisimmät Teknoware Oy:llä valmistettavien vaihtosuuntaajien käyttöjännitetasot. Jännitetasot ovat 24, 32, 48, 72 ja 110 voltia. Työssä pyritään saavuttamaan kaikki kolmen standardin määritykset annetuilla resursseilla. Käytön tulisi olla mahdollisimman helppoa, jotta laboratoriohenkilökunnan olisi helppo omaksua laite testirutiineissa. Laitteen tulisi huomata virheellinen käyttö, jotta vahinkoja ei sattuisi. Koska laitteessa ei tule olemaan takaisinkytkentää laitteen ulkopuolelta, on käyttäjän vastuulla asettaa oikea nimelliskäyttöjännite ja kytkeä laitteet oikein.

Laitteen tulisi lukea käyttäjän antamat asetukset ja niiden pohjalta syöttää analogijännitettä LPS-225-laboratoriovirtalähteelle, joka syöttää vaihtosuuntaajalle haluttua jännitettä.

Laitteen tulisi pystyä ohjaamaan kahta virtalähdettä itsenäisesti. Jotkut nimelliskäyttöasetukset lisättynä haluttu jännitteenmuutos aiheuttaa, että yhdestä laboratoriovirtalähteestä saatava suurin mahdollinen jännite ei riitä. Koska kyseessä olevat laboratoriovirtalähteiden sisäiset jännitteen kaukosäädöt ovat valmistajan itse toteuttamia ja siten kaukosäädinpiirien kytkennät ovat tuntemattomia, päätettiin tarvittava ohjausjännite tuottaa kummallekin laboratorioteholähteelle itsenäisesti, jotta sähköisiä ongelmia ei esiintyisi. Ohjekirjassa mainitaan, että erotusvahvisti-

men kautta voidaan virtaa ja jännitettä säätää galvaanisesti erotetulla 0...5 V:n jännitteellä, eikä kauko-ohjaimen tarvitse välttämättä suunnitella omaa galvaanista erotusta.

3 SUUNNITTELU & VALMISTUS

Allekirjoittaneelle projektin suunnitteluvaihe oli kaikkein haastavin. Työympäristö oli uusi kuten myös työkalut. Muiden työntekijöiden avustuksella työ saatiin etenemään ajoittaisista pienistä ongelmista huolimatta.

3.1. Ideoista toteutukseen

Suunnittelun lähtökohtana projektin alussa oli käyttöliittymän suunnittelu. Lopulta päädyttiin ajatukseen käyttää vähäinen määrä kiertokytkimiä asetusten säätämiseen. Käyttöliittymä olisi siten helppo omaksua. ”Laitteen tulisi olla mahdollisimman helppo käyttää, muuten sitä ei kukaan viitsisi käyttää” (Mattila 2006).

3.2. Mikrokontrolleri

Laitteen ”älyksi” valittiin yrityksessä yleisesti käytetty Freescalen valmistama MC68HC908JK8-mikrokontrolleri. Syy valintaan ovat yrityksestä löytyvät valmiit ohjelmointityökalut ja entinen kokemus kyseisestä piiristä. Siten ei työssä kulu liikaa aikaa jokaiselle työntekijälle täysin uuden mikrokontrollerin toiminnan opetteluun. Lisäksi koska mikrokontrolleria on yrityksen varastossa, eivät komponenttien hajoamiset hidasta työn etenemistä liikaa.

Mikrokontrollerin kellosignaalia tuottamaan valittiin yrityksessä yleisesti käytetty C-MAC:n valmistamaa 9.8304MHz:n kideoskillaattoria. Mikrokontrolleri pystyisi toimimaan jopa 32MHz:n taajuudella, mutta työssä käytetty kideoskillaattori on suuritaajuisin, mitä varastossa on listattuna. Lisäksi kun kellotaajuus ei ole liian suuri, helpotetaan piirilevyn suunnittelua ja vähennetään riskiä väärästä toiminnas-

ta häiriöalttiissa ympäristössä. Koska laitteella tuotettavien pulssien kestoissa puhutaan satojen millisekuntien ajoista, riittää 9,8304MHz kyseiseen tehtävään mainiosti.

Kyseinen mikrokontrolleri sisältää 8 kilotavua ohjelmoitavaa FLASH-muistia. FLASH-tyyppisen muistin ansiosta voidaan mikrokontrolleri ohjelmoida lukuisia kertoja uudelleen. Siten ohjelmistokehitys nopeutuu huomattavasti ja pienentää kuluja, koska pintaliitoskomponenttia ei tarvitse jokaisen yrityskerran välillä vaihtaa uuteen. 8 kilotavua (MC68HC908JK8 datasheet 2005, 17-18) on kyseiseen työhön enemmän kuin tarpeeksi, joten muistin loppumisesta ei tarvitse huolestua työn missään vaiheessa.

Mikrokontrollerissa on kaksi ajastinmoduulia, joilla voidaan aikakriittiset sovellukset ajaa tarkasti tietyllä ajanhetkellä. Suunnittelussa päätoiminnot, jotka vaativat tarkahkon ajanhetken ovat jännitteiden säädöt. Kiertokytkimien lukemiset voidaan toteuttaa noin tietyn ajan välein. Kuitenkin kiertokytkimien tarkastelun on tapahduttava riittävän usein, jotta käyttäjälle tulee vaikutelma reaaliaikaisuudesta.

Käyttäjän ohjelmoitavia portteja löytyy 15 kappaletta, mutta kellosignaali vie yhden, joten käytettävissä on 14 ohjelmoitavaa porttia. Ohjelmoitavista porteista 4:ää voidaan käyttää ledien ohjaukseen.

Mikrokontrollerin käyttöjännite voi olla joko 3- tai 5 voltia. Kyseisessä työssä valittiin käyttöjännitteeksi 5 voltia, koska laboratoriovirtalähde antaa 5voltin referenssijännitteen. Valitsemalla pienemmän ohjainlaitteen käyttöjännitteen, voisi piirilevyn suunnittelu vaatia enemmän aikaa. Lisäksi yrityksen varastosta löytyy sopivia 5 voltin regulaattoriipiirejä valmiina, joiden käyttö on helppoa ja nopeaa.

3.3. Multiplekserit

Kiertokytkimien lukemiseen valittiin kaksi Philipsin valmistamaa HEF4051B-tyyppistä 8-kanavaista analogista multiplekseriä. Tässä työssä kiertokytkimissä tarvitaan yhteensä 10 eri asennon tunnistamista, joten multipleksereillä voidaan supistaa mikrokontrollerille tarvittava porttimäärää pelkästään kiertokytkimien osalta 10:stä viiteen. Koska tarvitaan kaksi multiplekseriä, tarvitaan valintasignaali, joka valitsee käyttöön oikean multiplekserin. Oikean multiplekserin valinta toteutetaan käyttämällä Philipsin 2N7002 N-kanavaista MOSFET:ia, koska kyseinen MOSFET on työn tekijälle tuttu ja toimivaksi todettu. Kytkeä voidaan tarkastella kytkentäkaaviosta eli liite 1:stä.

3.4. DA-muuntimet

Laboratoriovirtalähdettä ohjataan 0...5voltin tasajännitteellä. Jännitetasoja tuotamaan valittiin kaksi Texas Instrumentsin valmistamaa TLV5623-tyyppistä sarjamuotoista dataa tulkitsevaa DA-muunninta. Kyseiset muuntimet ovat tarkkuudeltaan 8-bittisiä ja ovat SPI-yhteensopivia. Syy DA-muuntimen valintaan esimerkiksi PWM:n sijaan on nopeus. PWM:ssä laite hetkellisesti syöttää vain maksimijännitettä. Maksimijännitteen syötön kestoa säätelemällä lähtevän jännitteen keskiarvoa voidaan muuttaa. Tässä työssä vaadittaisiin kondensaattorilla toteutettu jännitteen vakavointi suodattamaan PWM-signaalia, koska muuten laboratoriovirtalähteen syöttämä jännite saattaisi vaihdella liikaa. Jännitteenmuutosten tulee tapahtua nopeasti, ja DA-muuntimet muuttavat jännitetasoa paljon nopeammin ja tarkemmin. DA-muuntimet pitävät varmemmin vakaan jännitetasoa kuin vakavointu PWM-signaali. Vakaa jännitetaso on työssä tärkeä, koska muutos ohjausjännitteessä, vaikuttaa 30-kertaisesti laboratorioteholähteen jännitteensyötössä.

Lisäksi eräs syy juuri kyseisten DA-muuntimien valintaan ovat alhainen mikrokontrollerin porttien määrän tarve. Kyseisiä DA-muuntimia on käytetty yrityksen aiemmissakin projekteissa, joten tarvittaessa voisi helposti saada opastusta piirien käyttöönotosta. Kyseiset DA-muuntimet ovat ainoat piirilevyille juotettavat osat, jotka jouduttiin tilaamaan erikseen. Vaikka kyseisiä piirejä on käytetty aiemmissa

projekteissa, ei piirejä etsinnöistä huolimatta löytynyt yrityksestä millään.

DA-muunnin tarvitsee referenssijännitteen, joka sopivasti saadaan laboratoriovirtalähteen kauko-ohjausliittimestä. Siten laboratoriovirtalähde saadaan säädettyä mahdollisimman tarkasti, kun jännite-erot tuotetaan virtalähteen jännitetasojen mukaan eikä ohjainlaitteen jännitetasoista. Ainoastaan maajohdin on molemmissa laitteissa yhdistetty sellaisenaan, mutta häiriöiden vähentämiseksi maatasot on lopullisessa piirilevyssä yhdistetty vain kapealla kaistaleella toisiinsa ohjainlaitteen piirilevyllä. Referenssijännitettä on pienennettävä, jotta DA-muuntimen syöttämä jännite olisi sopivan suuruista. Sääto toteutetaan trimmereillä. Trimmerien oikeat asennot saadaan valitsemalla laitteesta tietty jännite, ja jännitemittarilla mittaamalla tarkistetaan, syöttääkö laboratoriovirtalähde oikean suuruista jännitettä. Koska DA-muuntimia tarvitaan kaksi kappaletta, tulee piirien ohjaus suorittaa mahdollisimman vähän mikrokontrollerin portteja käyttäen. Piirien ohjaus suoritetaan samalla idealla kuin multipleksereiden ohjaus, eli MOSFET:iä käyttämällä valitaan haluttu piiri.

3.5. Käyttöliittymä

Ohjainlaitteen kotelon valinnassa mietittiin käyttöliittymän mahdollista kokovaatimusta. Käyttöliittymän luonnostelun jälkeen yrityksen varastosta valittiin sopivan kokoinen muovinen laitekotelo, jonka mukaan piirilevyn mittoja hahmoteltiin. Tärkeää laitekotelon valinnassa oli, että tarvittavat kaksi kiertokytkintä, neljä lediä ja yksi painonappi mahtuisivat kotelon kanteen väljästi. Laitekotelon kanteen suunniteltiin omatekoinen tarra, joka helpottaa asetusten säätämistä. Lisäksi jokaiselle ledille ja laitteen painonapille tehtiin tarrakoneella selkeyttävät tarrat. Laitetta voi tarkastella tutkimalla liite 7:sta.

Painonapilla asetetaan laite toimintaan ja pois toiminnasta. Ledit ilmaisevat laitteen toiminnan tilan, virhetilanteet, virtalähteiden tilan ja ilmaisee, milloin pulssia generoidaan.

3.6. Ohjelmointi

Laitteen ohjelmoinnin tulee olla mahdollisimman nopeaa, koska ohjelmistokehitys täysin alkutekijöistä vaatii lukuisia kokeiluja, jotka vievät aikaa. Ohjelmoinnin tulee tapahtua järjestelmän sisällä eli ISP:nä. Kun laitetta voidaan ohjelmoida järjestelmän sisällä, ei ainuttakaan komponenttia tarvitse irrottaa piirilevyiltä ohjelmoinnin aikana. Käytännössä ohjelmointi tapahtuu liittämällä ohjelmointikaapeli laitteeseen ja tietokoneesta käynnistetään ohjelmointi.

Ohjelmistoina työssä käytetään yrityksessä käytössä olevia valmiita ohjelmistoja. Ohjelmakoodi kirjoitetaan käyttämällä Crimson Editorin 3.70-versiota. Ohjelmointikielenä käytetään C-kieltä, joka on sulautetuissa järjestelmissä käyttökelpoinen kieli. Kirjoitettu C-kielinen koodi käännetään mikrokontrollerin ymmärtämään Assembly-kieleen käyttäen Freescalen omaa C6808-kääntäjää.

Ohjelmointi tapahtuu käyttämällä yrityksen käyttämällä tietokoneen USB-porttiin kytkettävällä Cyclone Pro ohjelmointilaitteella sekä itse tehdyllä tietokoneen sarjaporttiin kytkettävällä ohjelmointilaitteella. Cyclone Pro:n etuja ovat nopea ohjelmointi ja mahdollisuus ohjelmoida mikrokontrolleri kaukana tietokoneesta jolloin esimerkiksi testipöydällä olevaa prototyyppiä ei tarvitse irrottaa mittalaitteista ohjelmoinnin ajaksi. Lisäksi Cyclone Pro:n ohjelmisto osoittautui vakaaksi ja toimivaksi. Työn edetessä Cyclone Pro:n ongelmaksi muodostui saatavuus. Koska laite on tarkoitettu sarjatuotannon ohjelmointilaitteeksi eikä yrityksessä ole laitteita kuin minimitarpeisiin, aiheutti ohjelmointi ajoittain odottelua ohjelmointilaitteen ollessa toisessa käytössä. Sarjaporttiin kytkettävä omatekoisella laitteella ei edellä mainittuja ongelmia esiintynyt, koska muut työntekijät eivät halunneet käyttää laitetta. Ongelmana sarjaporttiohjelmointilaitteella on hitaus. Ohjelmoitava laite tulee kuljettaa tietokoneen läheisyyteen, jossa ohjelmointi tapahtuu hitaahkoa sarjaporttia myöten. Sarjaporttiohjelmointilaitteen eräs ongelma on sen käyttämä ohjelmisto. Ohjelmistona käytetään Prog08z-ohjelmistoa, joka osoittautui joko ohjelmiston tai ohjelmiston ja ohjelmointilaitteen yhteyden osalta epävakaaksi. Myös käyttäjän vähäinen kokemus ohjelmistosta saattoi vaikuttaa. Ohjelmisto ei aina tunnistanut mikrokontrolleria, joten asetukset tuli asettaa uudelleen, jotta oh-

jelmointi voitiin tehdä. Lisäksi käytössä ollut ohjelmisto ei sisältänyt samanlaisia automaattisia toimintoja, joita Cyclone Pro sisältää. Cyclone Pro tyhjentää mikrokontrollerin, ohjelmoi ja tarkistaa tuloksen yhden napin painalluksella. Prog08z:ssa samaiset toimenpiteet vaativat käyttäjän käynnistää kukin toiminto käsin.

3.7. Piirikaavio ja piirilevy

Piirikaavion suunnittelussa käytettiin Powerlogic 4.0.1-ohjelmaa. Piirikaavion valmistuttua voitiin varsinainen piirilevy suunnitella käyttämällä PowerPCB 4.0.1-ohjelmaa. Ohjelma on työn tekijälle tuttu koulusta, joten suunnitteluohjelmisto itsessään ei aiheuttanut lisää opiskelua.

Suunnittelussa uutena haasteena tuli yrityksen prototyypilevyjen valmistusmenetelmän rajoitteet. Jyrsintäkoneena käytettyyn LPKF Protomat 915:een pienin mahdollinen jyrsintäterä on 0,2mm leveä, joten suunnittelussa tulee ottaa huomioon minimivälkykset reititysten välillä.

Ensimmäistä prototyypilevyä suunnitellessa pääpaino oli tehdä toimiva ensimmäinen versio, jotta arvioidun pisimmän suunnitteluajan, eli ohjelmistokehityksen saisi mahdollisimman pian käyntiin. EMC-asioita ei tarkkaan pohdittu ensimmäisen prototyypipiirilevyn kohdalla, vaan suojauskomponentit sijoiteltiin piirien datakirjojen mukaisesti. Lisäksi piirilevylle kytkettiin lähelle virransyöttöä iso kondensaattori tasaamaan piirilevylle syötettävää jännitettä. Kondensaattori mitoitettiin käyttämällä ABB:n ohjeita (ABB 07-2000).

$$C_{BOARD} > 10 * n * C$$

C_{BOARD}	Tehonsyöttökondensaattorin kapasitanssi
n	suodatettavien piirien lukumäärä
C	Piirejä suodattamaan asetettujen kondensaattoreiden kapasitanssi

Kyseisessä projektissa piirien läheisyyteen valittiin 100nF:n kondensaattorit suodattamaan piireille syötettävää jännitettä. Piirejä laitteessa on 5, joten kaavasta saadaan tulokseksi 5 μ F. Varastosta lähin seuraava elektrolyyttikondensaattori on 10 μ F:n kondensaattori.

Jännitetasot pyrittiin pitämään piirilevyllä mahdollisimman laajoina. Koska ohjaislaite tulee käytettäväksi laboratorio-olosuhteisiin jossa monet häiriölähteet voivat häiritä laitteen toimintaa, ovat vakaat signaali- ja jännitetasot olennaisia. Lisäksi koska piirilevy valmistetaan jrsintämenetelmällä, on piirilevyn valmistus nopeampaa suurilla jännitetasoilla kuin minimaalisilla, koska jrsinnän kesto riippuu jrsittävän alueen määrästä.

Ohjainlaitteesta ei ole tarkoitus tulla sarjatuotantoon soveltuvaa laitetta. Suunnittelu on siten vapaampaa, eikä osien valinnassa ei tarvitse olla yhtä tarkkaan mietittyjä komponentteja kuin sarjavalmisteisessa tuotteessa. Lisäksi komponenttien sijoittelua ei tarvitse miettiä muuten kuin komponenttien sähköisten ominaisuuksien puolesta. Koska laitteen komponentteja ei tulla esimerkiksi aaltojuottamaan piirilevyllä, voidaan komponentit asetella optimaalisen suuntaisesti toisiin komponentteihin nähden.

Kun piirilevy on suunniteltu PowerPCB:llä, oli seuraava vaihe siirtää tiedot piirilevysuunnittelijan hoivaan. Piirilevysuunnittelijana Teknoware Oy:ssä toimii Harri

Kalenius. Hän ystävällisesti teki tarvittavat toimenpiteet, jotta jysintäkoneen ohjelmistosta voitiin käynnistää jysintäkone.

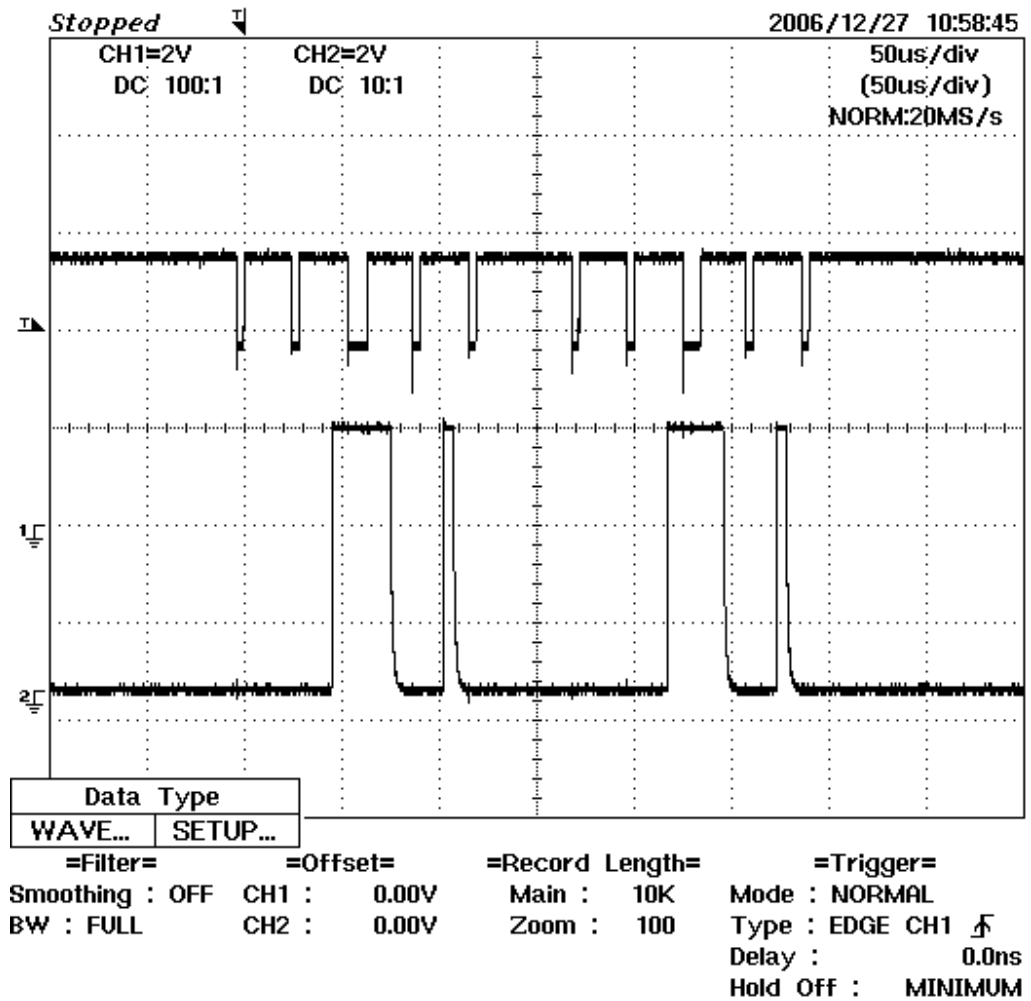
4. TYÖN EDISTYMINEN

Ensimmäinen prototyypipiirilevy onnistui ilman suurempia ongelmia. Selviä suunnitteluvirheitä havaittiin, mutta ainutkaan virheistä ei estänyt laitetta toimimasta. Seuraavaksi yksittäisten komponenttien onnistumisia ja ongelmia.

Eri piirien signaaleissa oli havaittavissa selkeitä kytkeytymispiikkejä kun signaali kytkeytyi päälle ja pois päältä. Piikkeihin auttoi juottamalla lisää ylösvetovastuksia ja suodatinkondensaattoreita. Piikit eivät varsinaisesti haitanneet laitteen toimintaa, mutta koska piikkejä esiintyi myös negatiivisina jännitetasoina, laitteen kestävyys ja toiminnan varmuuden kannalta tuli poistaa häiriöt.

4.1. Multiplekserit

Analogiset multiplekserit aiheuttivat tarkempaa tutkiskelua, koska omituisia signaaleja esiintyi tietyillä kiertokytkimien asennoilla. Kuvio 3:sta voidaan nähdä, että ylimääräinen signaali ei haittaa.



KUVIO 3. Kuvio kiertokytkimien luvusta.

Kuvio 3 kuvaa, kuinka multiplekserit syöttävät kiertokytkimien tilan mikrokontrollerille. Ylempi viiva kuvaa, milloin multipleksereiden ulostuloa luetaan, eli jännitteen ollessa alhaalla luetaan ja käsitellään multipleksereiden ulostuloa. Kuvioista voidaan huomata aiemmin mainitut negatiiviset jännitepiikit, joita jouduttiin suodattamaan pois.

bittien vastaanoton, kun FS-pinnin tila laskee nolnaan. Muunnin tallettaa 16 seuraavan laskevan kellopulssin aikana olleet DIN-pinnin tilat. Kuvio 5 näyttää millainen käskyjonon tulisi olla.

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
X	SPD	PWR	X	New DAC value (8 bits)								0	0	0	0

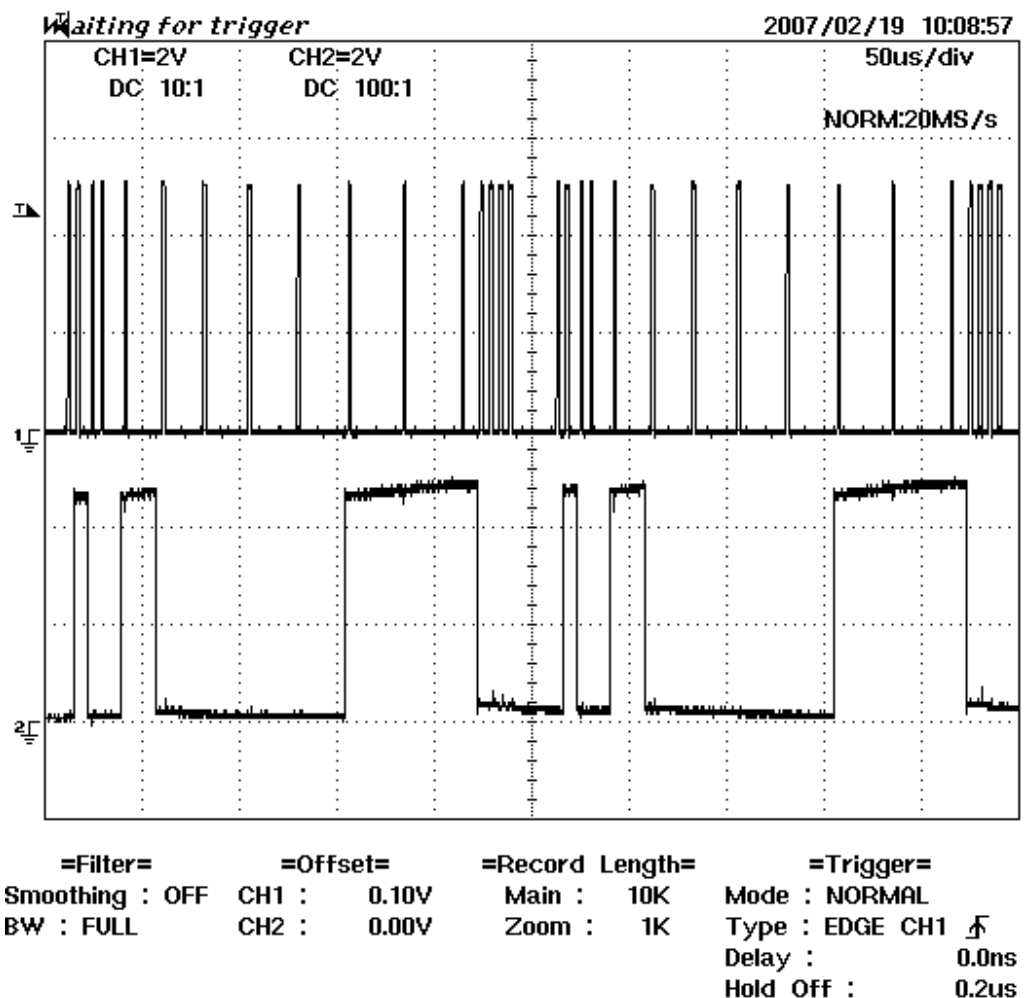
X: don't care

SPD: Speed control bit. 1 → fast mode 0 → slow mode

PWR: Power control bit. 1 → power down 0 → normal operation

KUVIO 5. TLV5623:n käskyjono (TLV5623 datasheet, 2006)

Kuvio 6 osoittaa millaiselta kyseinen väylä näyttää oikeasti oskilloskoopilla tarkasteltuna. Molemmat DA-muuntimet joudutaan ohjelmoimaan peräkkäin, jotta laboratorioteholähteitä voidaan itsenäisesti ohjata. Samalla kun molemmat virtalähteet ohjataan itsenäisesti, voidaan tarvittaessa jättää toinen DA-muunnin ohjaamatta.

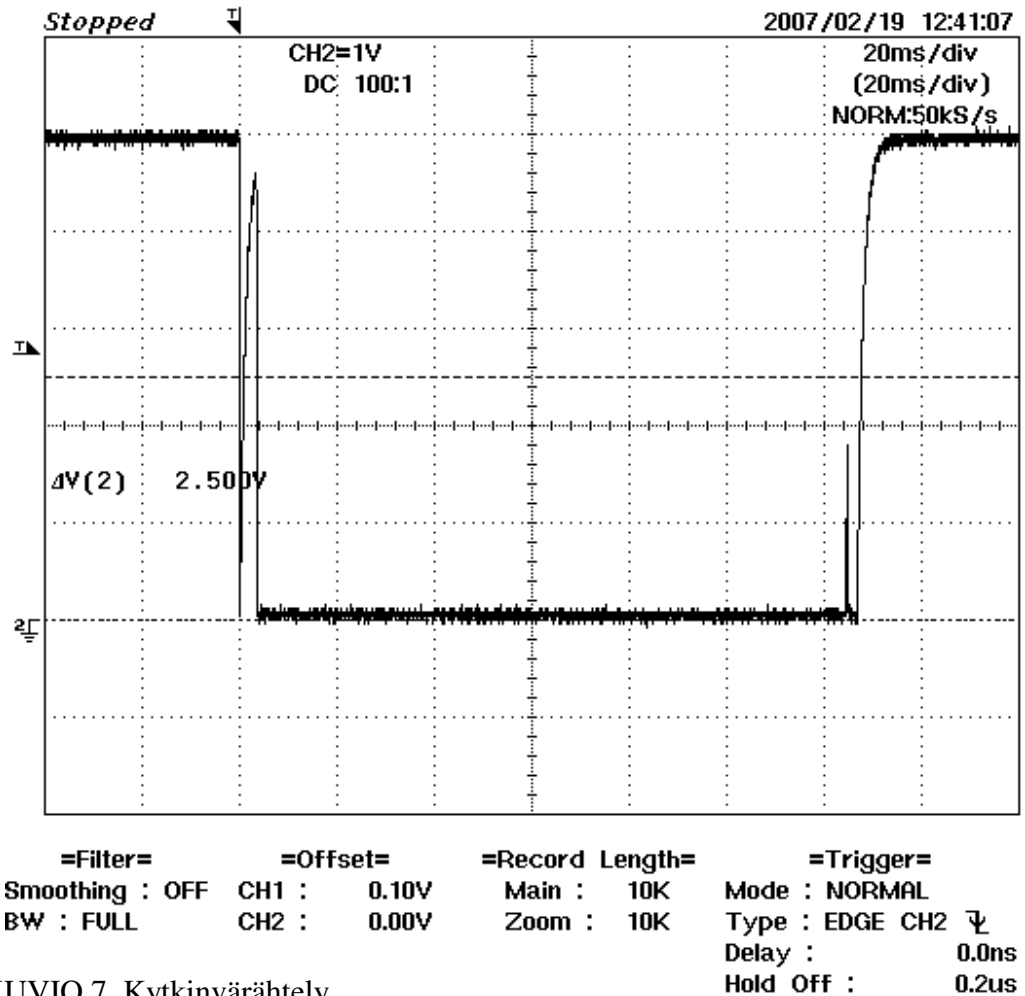


KUVIO 6. TLV5623 toiminta oikeasti.

4.3. Painonapin värähtelyt

Piirilevyä suunniteltaessa laitteen käynnistävä painonappi tiedettiin tulevan aiheuttamaan kytkinvärähtelyjä. Kyseiset kytkinvärähtelyt esiintyvät, kun kytkintä painetaan ja kun painonappi vapautetaan. Ilmiössä painonapin sisällä olevat kontaktipinnat johtavat hetkellisesti sähköä juuri ennen kuin kontaktipinnat oikeasti koskettavat toisiaan. Sama pätee myös toisinpäin, eli juuri kun kontaktipinnat irtoavat toisistaan, kytkeytyy sähköä vielä sen jälkeen, kun kontaktipinnat ovat irronneet toisistaan. Näin ollen yhden painalluksen sijaan saattaa syntyä sähköisesti useita erittäin nopeita painalluksia.

Työssä pyrittiin vaimentamaan kytkinvärähtelyä painonapin kanssa rinnan olevalla kondensaattorilla. Vaimennuksesta huolimatta laite satunnaisesti ei käynnistynytkään tai jäi napin painalluksen jälkeen toimintaan. Ongelma päätettiin lopullisesti poistaa ohjelmakoodia muuttamalla. Kun laite ensimmäisen kerran havaitsee, että painonappia painetaan, kieltää ohjelma ulkoiset keskeytykset n. 1-2 sekunniksi. Ajan pitäisi olla tarpeeksi pitkä estämään kytkinvärähtelyt ja jopa olla tarpeeksi pitkä aika napin painallukselle ja vapautukselle, jotta napin vapautuksesta mahdollisesti syntyvät värähtelyt suodattuisivat pois. Kuvio 7:ssä voidaan nähdä, millainen kytkinvärähtely satunnaisilla painalluskerroilla tapahtuu. Kursorit on asetettu ilmaisemaan jännitteen nollassa ja 2,50 voltin tasoa, joka on noin jännitealueen puolivälissä. Kyseisen 2,50 voltin jännitetason läheisyydessä mikrokontrolleri tulkitsee ulkoisen keskeytyksen tapahtuneen.



KUVIO 7. Kytkinvärähtely

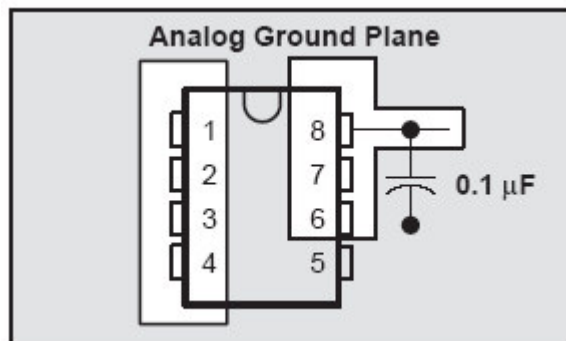
4.4. Piirilevy

Ensimmäisessä piirilevyssä huomattiin jo komponenttien juottamisen aikana puutteita ja virheitä. Ensimmäiset virheet huomattiin jo komponenttien juotosvaiheessa. Eräät johdotukset kulkivat liittimien alle samalla puolella, jolla itse liitinkin sijaitsi. Koska piirilevyllä ei ollut putkilla toteutettuja läpivetoja piirilevyn toiselle puolelle, jouduttiin liittimet juottamaan todella vaikeasti samalle puolelle, jolla ne sijaitsivat. Kyseinen toimenpide pakotti hieman sulattamaan liittimiä kolvilla, jotta liittimen juotos onnistuisi. Toisessa piirilevyversiossa suunnittelussa otettiin huomioon, että kaikkien liittimien johdotukset tulevat piirilevyllä toiselle liittimeen nähden.

Kuten edellä on mainittu, signaalien kytkeytymisestä aiheutui jännitepiikkejä joista haluttiin päästä eroon. Oskilloskoopilla mitattiin kaikki signaalivedot, ja signaalit, joissa esiintyi kytkeytymisestä johtuvia jännitepiikkejä, otettiin tarkastelun kohteiksi. Signaaleista selvitettiin millaista kytkeytymisestä johtuvia häiriöitä johdotuksessa esiintyi ja lisättiin tarvittavat komponentit vaimentamaan häiriöitä.

Nopeahkon aikataulun takia ensimmäisestä piirilevystä puuttui jänniteregulointi kokonaan. Käytännössä laitteeseen kytkettiin piirien käyttämä käyttöjännite suoraan laboratorioteholähteestä. Toisessa piirilevyversiossa laitteeseen liitettiin mukaan +5 voltin jänniteregulaattori. Yrityksen kaapeista löytyi sopiva 9 voltin ilmeisesti matkapuhelimelle tarkoitettu laturi, joka pienellä muutostyöllä saatiin sopimaan kyseessä olevan laitteen virtalähteeksi. Lopullista valmista piirikaaviota voi tarkastella Liite 1:stä.

Muita suunnitteluvirheitä löytyi piirilevyn johdotuksesta. Osa johdotuksista kulki liian lähellä toisiaan, jolloin viereiseen johdotukseen kytkeytyi häiriötä. Häiriöiden tasot olivat pieniä, mutta niistä haluttiin päästä seuraavassa piirilevyssä eroon, jotta muutenkin häiriöllinen toimintaympäristö ei aiheuttaisi ongelmia toiminnan kannalta. Ensimmäisessä piirilevyversiossa (+)-jännitetaso oli sijoitettu samalle puolelle, jolla pintaliitoskomponentit sijaitsevat. Maataso sijaitsi läpivientejä vaativien komponenttien puolella. Toisessa piirilevyversiossa muutettiin jännitetasojen puolta piirilevyllä, jotta saataisiin mahdollisimman suuret maatasot signaalijohtimien läheisyyteen. Myös DA-muuntimien ohjekirjassa kehoitetaan jättämään maataso piirien alle, jota kuvio 8 esittää. Jännitetasojen puolia vaihtamalla mahdollistettiin maatasot piirien alla, jotka isoista maatasoista erityisesti hyötyvät.



KUVIO 8. DA-muuntimen suositeltu kytkentä (TLV5623 datasheet, 1999, 14)

Piirilevyä suunniteltaessa käytettiin yrityksen omia komponenttikirjastoja Power-Logic:lle. Komponenttikirjastossa on tiedot komponenteista, esim. tyyppi, kiinnitys piirilevylle ja niin edelleen. Jostain syystä piirien valintasihtinaalinvvertoinnissa käytössä olleiden MOSFET:ien tiedoissa olivat komponentin fyysisten mittojen tiedot eli decalit kääntyneet peilikuviksi, mikä pakotti juotosvaiheessa kääntämään komponentit ylösalaisin. Juottaminen onnistui, mutta erikoinen komponentin sijoittelu toi mukanaan haastetta juottamiseen. Piirilevyn toisessa versiossa decalin oikeat tiedot erityisesti tarkistettiin, jottei komponentteja tarvitsisi jälleen juottaa ylösalaisin piirilevylle. Valmiin piirilevyn kuvaa voi tarkastella liitteissä. Liite 2 kuvaa piirilevyn yläpuolta, eli puolta, joka näkyy jos laitteen kansi avataan. Liite 3 kuvaa piirilevyn alapuolta, jossa ovat kaikki pintaliitoskomponentit. Valmistaladottua piirilevyä kuvaavat liite 5 ja liite 6.

4.5. Mikrokontrolleri & ohjelma

Valittu mikrokontrolleri osoittautui toimivaksi ja helpoksi käyttää. Työn aikana jouduttiin muutama mikrokontrolleri vaihtamaan uuteen hajoamisen takia. Syynä oli joko käyttäjän tekemä virhe tai mystinen hajoaminen, mahdollisesti staattisen sähkön aikaansaaman hajoamisen takia.

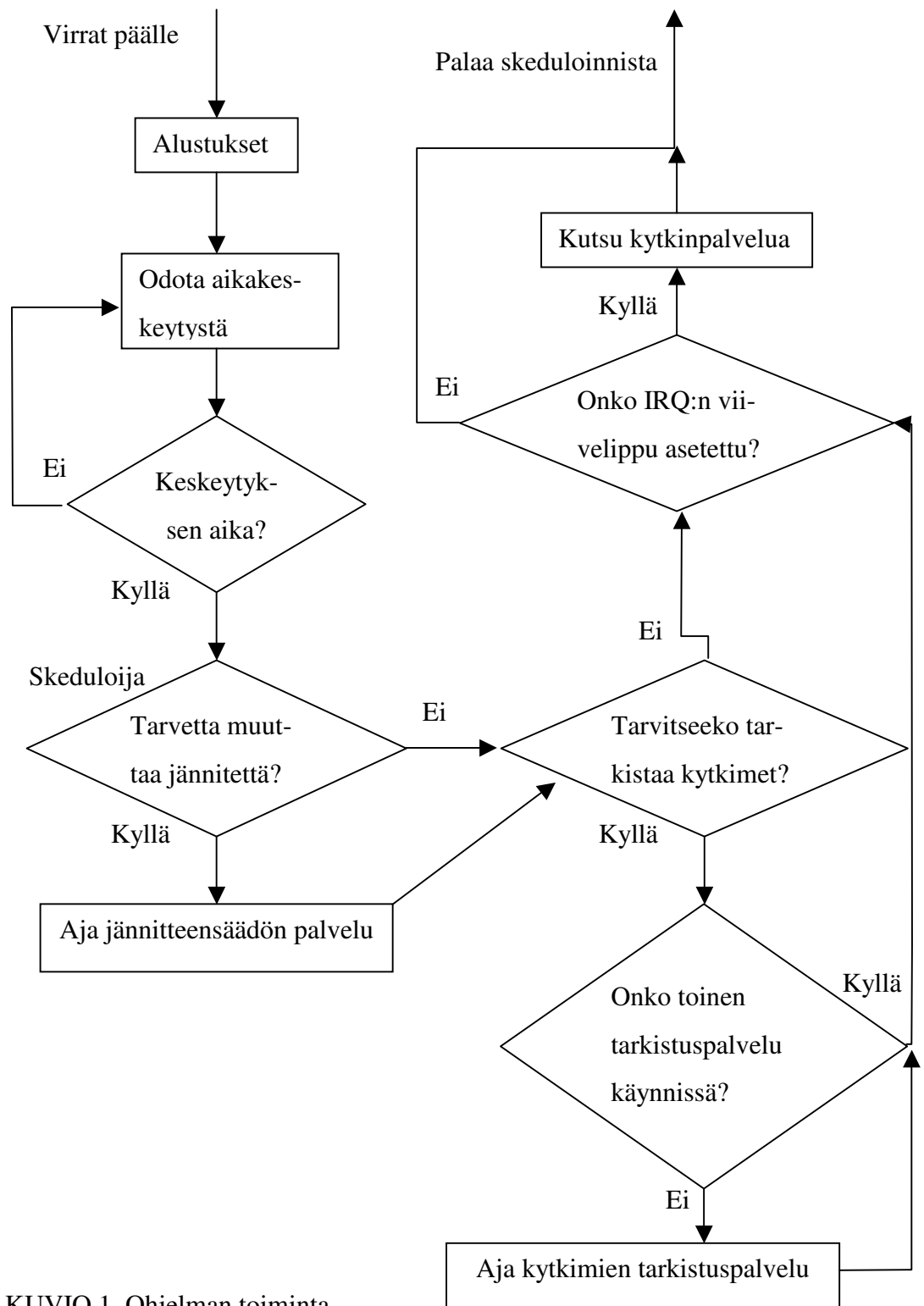
Ohjelmakoodissa jouduttiin lainailemaan Markku Kaukon aiemmista projekteista vinkkejä oikean toiminnan takaamiseksi. Esimerkiksi ajastinkeskeytyksen toiminta vaatii ajastinkeskeytyksessä ajastimen tilan tallettamista tilapäiseen kohteeseen, jotta ajastin toimisi jatkossa oikein. Tallennetulla tiedolla ei varsinaisesti ole käyttöarvoa, mutta Markku Kaukon (2006) mukaan kyseinen operaatio tulee tehdä, jotta laite toimisi oikein. Valmistajan toimittamat valmiit header-tiedostot löytyivät Markun arkistoista. Header-tiedostossa on määritelty symbolisia nimiä mikrokontrollerin eri osoitteille. Kyseiset osoitteet määrittelevät, mistä osoitteesta mikäkin mikrokontrollerin sisäiset toiminnot kuten I/O-portit löytyvät. Siten ohjelmakoodissa voidaan numeeristen osoitteiden sijaan käyttää selkeitä nimityksiä ja ohjelman luettavuus helpottuu.

Toisen piirilevyn valmistuttua ongelmaksi valitun mikrokontrollerin kohdalla muodostui saatavuus. Yrityksen varastosta olivat kyseiset kontrollerit loppu ja koska niitä ei käytetä suuria määriä, oli uuden toimituksen saapuminen arvailujen varassa. Yritykseltä löytyy varastosta myös toinen Freescalen valmistama pintaliitoskoteloinen mikrokontrolleri, joka on pinnihteensopiva alun perin valitun mikrokontrollerin kanssa. Siten ei tarvinnut suunnitella kolmatta piirilevyä koska uusi mikrokontrolleri sopi sellaisenaan alkuperäisen paikalle. Kyseinen MC68HC908JK3-mallisessa mikrokontrollerissa on vähemmän muistia (4 kilotavua, JK8-mallissa 8 kilotavua) (MC68HC908JK3 datasheet 2005, 22-23). Muistia on silti tarpeeksi kyseessä olevalle projektille.

Ohjelmakoodiin jouduttiin mikrokontrollerin vaihdoksen takia tekemään muutoksia. Ensimmäinen muutoksen kohde olivat alustuksessa määriteltävien osakokonaisuuksien nimien muuttaminen erilaisen header –tiedoston takia. Eli esimerkiksi ajastinkeskeytysten nimet tuli muuttaa kyseisen mikrokontrollerin header-tiedoston mukaiseksi.

Ohjelmiston tai laitteiston mahdollisten virheiden aiheuttamia ohjelmiston jumiumismia varten asetettiin mikrokontrollerista löytyvä watchdog-toimintaan. Watchdog on mikrokontrollerin sisällä itsenäisesti laskeva laskuri, joka loppuun päästyä resetoit eli käynnistää uudelleen mikrokontrollerin, jos laskuria ei nollata aikaisemmin. Nollaus toteutetaan mikrokontrollerin odottaessa ajastinkeskeytyksiä.

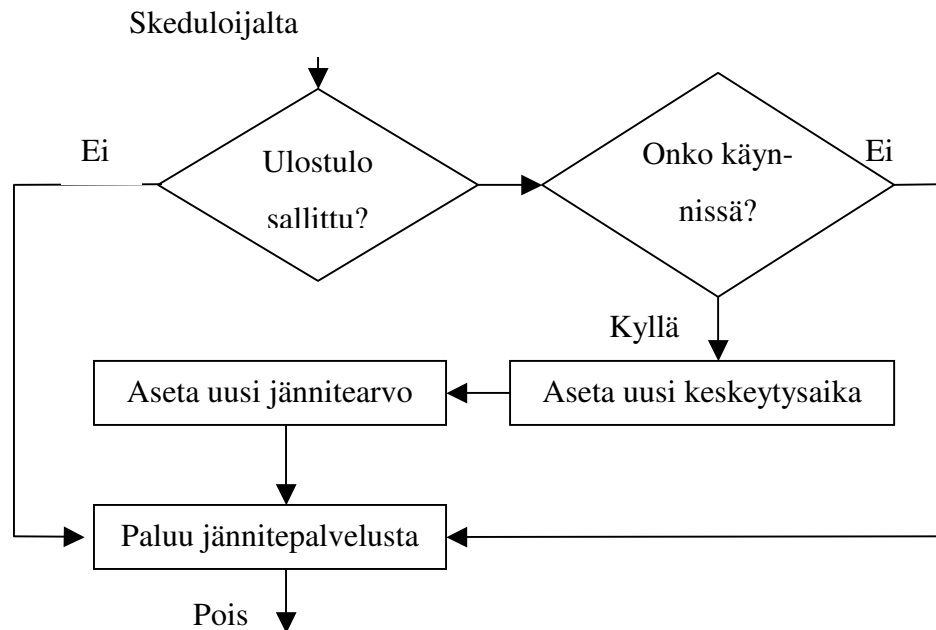
Uudelleenvalitusta mikrokontrollerista puuttuu toinen ajastinkeskeytys, joka aiheutti muutostöitä ohjelmakoodiin. Ajastinkeskeytys muutettiin toimimaan vain palveluiden ajastuksena eli skeduloijana, jossa halutun ajan välein kutsutaan tarvittavia toimintoja. Ohjelman karkeaa toimintaa on kuvattu kaavio 1:ssä. Varsinaista ohjelmakoodia voi tarkastella liite 2:sta.



KUVIO 1. Ohjelman toiminta

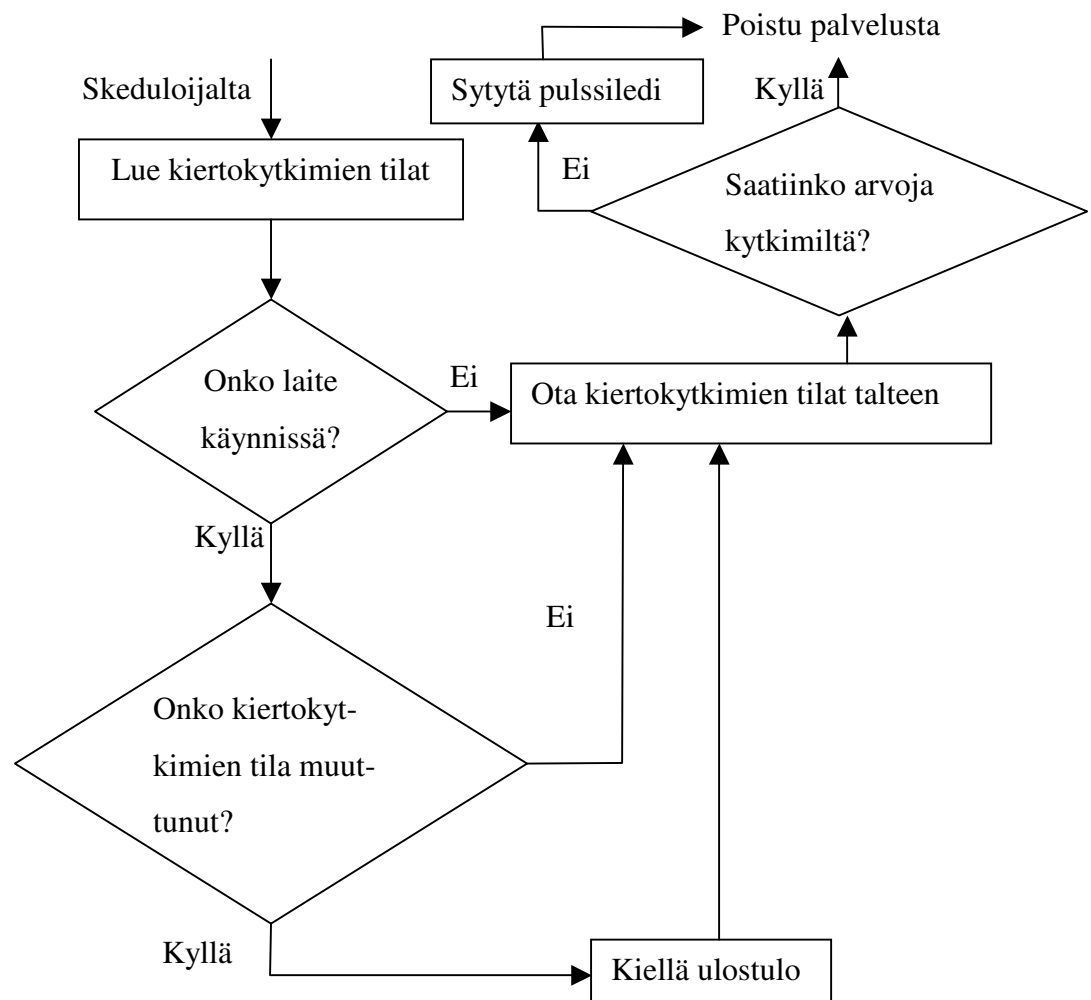
Kuten kuvio 1:stä voidaan huomata, on ohjelmassa skeduloija eli ohjelma, joka kutsuu jännitesäätöä ja kytkimien tarkistuspalvelua. Kun ajastinkeskeytys tapah-

tuu, kutsutaan joka kerta jännitepalvelua. Halutun ajan välein kutsutaan kytkimien tarkistusta, joka tapahtuu kyseisessä työssä 250 millisekunnin välein. Aika on tarpeeksi lyhyt, että käyttäjälle tulee vaikutelma reaaliaikaisuudesta, mutta se on tarpeeksi pitkä, ettei turhaan tarkisteta kytkimiä jatkuvasti. Seuraavassa tarkastellaan tarkemmin palveluita ja miten ulkoisen keskeytykseen, eli napin painallukseen reagoidaan.



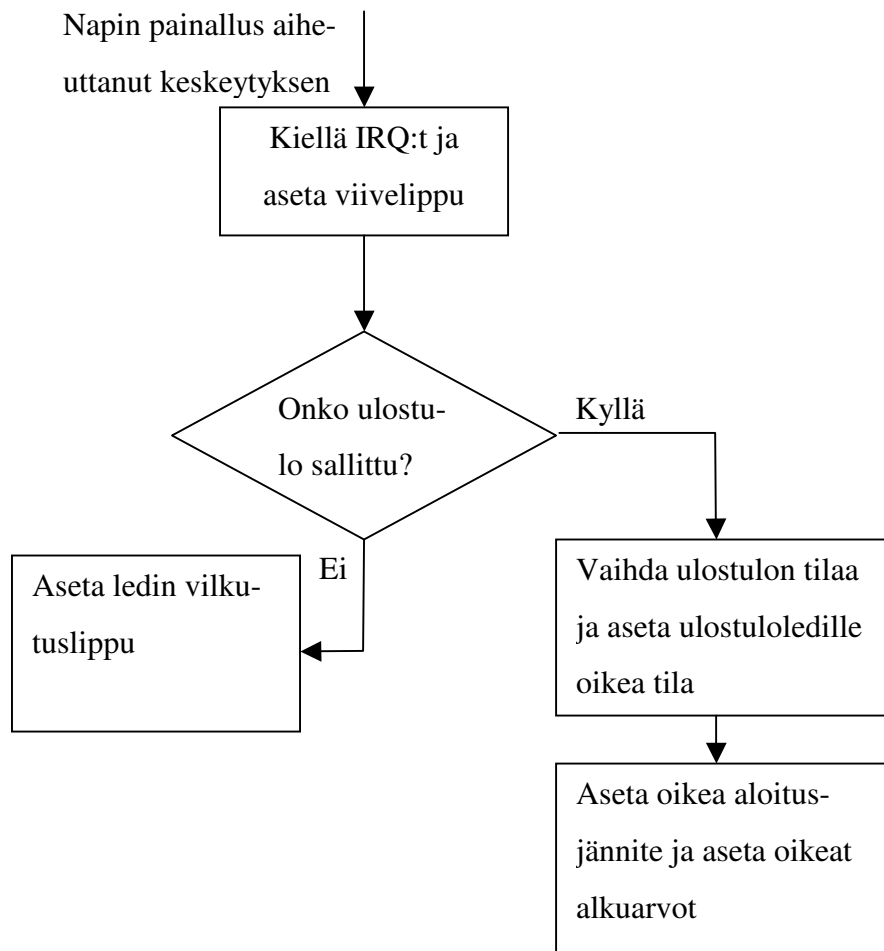
KUVIO 2. Jännitepalvelun toiminta

Jännitepalvelu (kuvio 2) tarkistaa aikalaskurilta onko aika muuttaa jännitettä. Jos on tarvetta jännitteen muutokselle, suoritetaan tarvittavat toimenpiteet. Myös jos ulostulo on syystä tai toisesta kielletty, nollataan ulostulojännite.



KUVIO 3. Kytkimien tarkistuspalvelun toiminta

Kiertokytkimien tarkistuspalveluspalvelu (kuvio 3) kuvaa karkeasti miten kiertokytkimiä luetaan ja miten niitä käsitellään. Jos jommaltakummalta tai kummaltakaan kytkimeltä ei saada tietoa, sytytetään pulssiled, jotta tiedetään kyseessä olevan laitteistovika ja voidaan huoltaa laite. Kiertokytkimiä luetaan käymällä läpi jokainen mahdollinen multiplekserin osoite, jossa voi olla tietoa kiertokytkimien asennoista. Kun tieto kytkimen asennosta saadaan, siirrytään tarkastelemaan seuraavaa kytkintä. Kun viimeinen kiertokytkin on tarkasteltu, siirrytään saadun tiedon käsittelyyn.



KUVIO 4. Ulkoisen keskeytyspalvelun toiminta

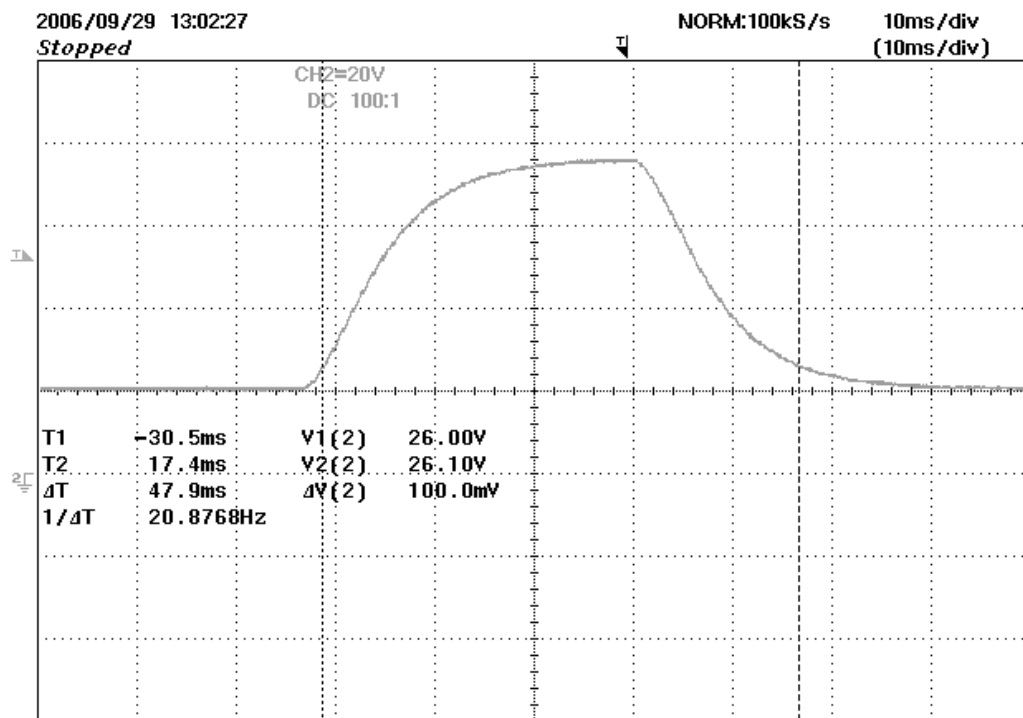
Ulkoisen keskeytyksentapahduttua asetetaan laite toimintaan tai pois toiminnasta jos ulostulo on sallittu. Jos ulostulo ei ole sallittu, vilkutetaan laitteen tilaa kuvaavaa lediä ilmaisemaan kytkennän riittämättömyydestä tai muusta syystä jonka takia laitetta ei voi asettaa toimintaan.

4.6. Laitteen toiminta & ongelmat

Työn alkuvaiheessa tehtiin alustavia testejä LPS-225-laboratorioteholähteen riittävyydestä tarvittavaan testiin. Alustavissa testeissä havaittiin, että laboratorioteholähteet tulisivat toimimaan kaikilla osa-alueilla.

Työn edetessä huomattiin, että laboratorioteholähteiden jännitteen nousunopeus ei riitä nostamaan jännitettä 3,5-kertaiseksi lähellekään 2 millisekunnissa. Ongelmaa yritettiin kiertää erinäisillä keinoilla. Kahden laboratorioteholähteen sarjaan kytkeminen nopeutti nousunopeutta hieman, mutta rasitettuna pulssin pituus jouduttiin kasvattamaan liian pitkäksi, että testattavat laitteet hajosivat. Pulssi, jonka pitäisi standardin mukaan olla 20 millisekunnin mittainen, olisi jouduttu venyttämään nousu ja laskuaikojen kanssa yli 100 millisekunnin mittaiseksi, jotta jännite nousisi lähelle tavoiteltua jännitetasoa. Lisäksi testaaminen vaikeutui huomattavasti verrattuna esitesteihin, jossa testattiin vain pienehköjä kuormia vaihtosuuntaajilla, joilla ei ole kaikkein edistyneisimmät suojaukset ja nimellisjännitteet eivät olleet suuria. Kuvio 9 kuvaa vaihtosuuntaajan käyttöjännitettä, jossa testi olisi melkein täyttänyt standardin. Kuvioista voidaan huomata, kuinka nousuaika on noin 10 millisekuntia, vaikka kyseessä on vain 24 voltin vaihtosuuntaaja yhteensä 42 watin rasituksella. Kytkemällä laboratorioteholähteeseen esimerkiksi 110 voltin vaihtosuuntaaja, ei edes kolmen laboratorioteholähteen käyttö nopeuttanut jännitteen nousunopeutta tarpeeksi.

Koska monissa vaihtosuuntaajissa on hyvin toimivat ylijännitteen suojaukset, ei syötettävä jännite noussut tarpeeksi korkealle tasolle. Pulssinaikaa pidentämällä ja jännitettä nostamalla olisi, vaihtosuuntaajamallista riippumatta, testi hajottanut testattavan vaihtosuuntaajan ja siten ohjauslaitteen kalibrointia ei voitu suorittaa. Kalibroinnissa ohjelmakoodiin asetetaan jännite- ja aika-arvot, jotka toimivat oikein laitetta käytettäessä. Kalibrointia yritettiin suorittaa kytkemällä laboratorioteholähteeseen resistiivistä kuormaa tehovastuksilla, mutta koska laboratorioteholähteet toimivat testissä ääriarjoilla, ei kalibrointi toiminut luotettavasti jokaiselle vaihtosuuntaajalle jokaisella kuormalla. Pienellä kuormalla pulssin kesto osoittautui liian pitkäksi, ja suurella kuormalla jännite ei edes noussut tarpeeksi korkealle samassa ajassa.



KUVIO 9. 2x 21W loisteputken kuorma 24 voltin vaihtosuuntaajassa 3,5-kertaisen jännitteennousun aikana

Ongelman ohjelmallista kiertämistä tutkittiin. Tutkittiin, miten jännitteen nousunopeus muuttuisi, jos jännite asetettaisiin hetkeksi maksimiarvoon ja tietyn ajan päästä asetettaisiin haluttuun arvoon. Keino havaittiin erittäin epävarmaksi. Jännitteen nousunopeus ei joissain tapauksissa nopeutunut yhtään tai jopa saattoi hidastua tuntemattomasta syystä. Harvassa tapauksessa nousunopeus saattoi nopeutua marginaalisesti. Koska testattavat vaihtosuuntaajat kuluttavat eri määrän tehoa ja eri jännitteillä, muuttui nousunopeus jokaisen vaihtosuuntaajan kohdalla niin paljon, että ennalta laskettavaa maksimijännitteen pitoaikaa ei voitu luotettavasti laskea. Ilman takaisinkytkentää laboratorioteholähteiltä ei voitaisi saada tietoa, milloin jännitetaso olisi haluttu ja voitaisiin jännitteen nostaminen lopettaa. Takaisinkytkentä olisi vaatinut liian suuria muutoksia laitteeseen, joten idea hylättiin.

Jännitteen nousunopeuden kasvattamista tutkittiin ulkoisilla kytkennöillä. Ideana olisi pitää tasainen tavoiteltu korotettu jännite kaukosäädettävissä laboratorioteholähteissä ja yksi laboratorioteholähde ylläpitäisi nimellijännitettä. Kauko-ohjatut laboratorioteholähteet kytkettäisiin testattavaan vaihtosuuntaajaan vasta, kun on

tarvetta. Ideaa tutkittiin mutta hylättiin mahdollisen huonon kestävyuden takia. Yrityksestä ei löytyisi jännitteen kytkemiseen muita soveltuvia komponentteja kuin mekaanisia releitä. Releissä tapahtuisi sisällä kipinäointia suurista potentiaa- lieroista johtuen, mikä lyhentäisi käyttöikää huomattavasti.

Koska kyseinen 3,5-kertainen jännitteennousu havaittiin olevan liian lähellä laboratorioteholähteiden rajoituksia, ja irtokytkeä olisi liian vaikea/lyhytikäinen toteuttaa, päätettiin kyseisestä ylijännitetoiminnosta luopua. Lopulta jäljelle jäivät 100 millisekunnin ja 1 sekunnin pulssien tuottaminen, joilla standardit tulevat täytetyksi kyseisillä laboratorioteholähteillä. Kyseisissä testeissä vaadittava nousunopeus on 100 millisekuntia, joten laboratorioteholähteiden mahdollistama 10-50 millisekunnin nousunopeus (kuvio 1) riittää täyttämään standardit.

Standardit määrittelevät, että pulssien esiintymistiheyden tulisi olla alle minuutti (EN 50155, 2001, 38). Kyseisessä työssä valittiin esiintymistiheydeksi n. 30 sekuntia, jotta vaihtosuuntaajia rasitettaisiin enemmän ja mahdolliset suunnittelu- ja komponenttiviatiat ilmenisivät nopeammin. Standardi myös määrittelee, että testattava laitteeseen tulisi syöttää viisi kertaa jokainen pulssi. Työssä laite lopettaa laboratorioteholähteen ohjaamisen joko käyttäjän halutessa tai vian sattuessa.

Laitteen ollessa päällä on havaittu ongelmia suojautua elektrostaattisia jännitepiikkejä vastaan. Esimerkiksi käyttämällä ESD:ltä suojaamattomia kenkiä, voi staattisen sähkösynnyttämä sähkövaraus koskettaessa kytkeytyä laitteeseen tai kaapeleihin, jolloin laite tulkitsee vian tai asetusten muutoksen ja sammuttaa itsensä. Ongelman ei pitäisi olla vakava, koska laboratoriossa henkilöstöllä kuuluisi olla käytössä ESD:ltä suojattuja varusteita, jolloin kyseistä ongelmaa ei pitäisi esiintyä. Vielä ei ole havaittu, että staattinen sähkö olisi tuhonnut laitetta sen ollessa kotelossa. Ohjelmallisesti ylimääräiset sammumisviatiat mahdollisesti voisi kiertää tarkistamalla virheitä useaan kertaan ennen kuin laite kytkisi itsensä pois toiminnasta. Kyseistä tarkistusta ei kuitenkaan päätetty lisätä, koska oikean vian sattuessa laite olisi toiminnassa pidempään ja siten lisääntyisi vahingon määrä. Tärkeämpää on pitää vikatilanteiden sattuessa vahingot minimaalisina.

5 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tutkia ja kehittää testaustyökaluja Teknoware Oy:lle, jotta prototyypin laatua voitaisiin tutkia ja parantaa. Esitutkimus osoitti, että jo valmiina yrityksessä käytössä olevia LPS-225-laboratorioteholähteitä voitaisiin käyttää testattavien laitteiden käyttöjännitteen kenttäolosuhteiden simulointiin. Teknoware Oy:ssä on erityisen tärkeää, että jo prototyyppivaiheessa tuotteet käyvät läpi sarjan testejä ennen sarjatuotantoon asettamista, koska yrityksen tuotteet joutuvat asiakkailta hyvin vaativiin olosuhteisiin. Jos tuotteita myydään testaamattomina, mahdolliset ylimääräiset vikatilanteet aiheuttavat ylimääräisiä kuluja ja jopa kauppojen menetyksiä.

Tutkimusten onnistuttua voitiin keskittyä suunnittelemaan LPS-225-laboratorioteholähteelle automaattista kauko-ohjausta, joka tuottaa tarvittavan laboratorioteholähteen ohjauksen. Työssä 3.5-kertaisen ylijänniteominaisuuden poistaminen laitteesta oli takaisku, koska alustavissa tutkimuksissa oli saatu tuloksia, joiden mukaan LPS-225-laboratorioteholähteitä voisi käyttää nopeiden ja isojen jännitemuutosten tuottamiseen. Valitettavasti toiminnon epäluotettavuus pakotti karsimaan toiminnon pois.

Laite vaikuttaisi olevan toimiva, koska testijakson aikana LPS-225-pulssiohjain toimi yhtäjaksoisesti 21 vuorokautta moitteita. Ainoat keskeytykset, joita on havaittu, ovat olleet sähkökatkokset ja käyttäjästä purkautuneet staattisen sähkön aiheuttamat häiriöpiikit.

Työssä saavutettiin suurin osa halutuista tavoitteista, eli saatiin laite, jolla voisi testata vaihtosuuntaajien standardien täytyminen. Laitteen valmistuttua testausvaiheessa ei tuhoutunut yksikään vaihtosuuntaaja. Selvästi oli havaittavissa vaihtosuuntaajien lämpenemistä. Lämpeneminen osoittaa, että testissä vaihtosuuntaajat suojautuvat ylijännitteisiin muuttamalla laboratorioteholähteiden syöttämän ylimääräisen energian lämmöksi.

LÄHTEET

ABB Corporate Communications. The ABB Group: Teknisiä tietoja ja taulukoita –käsikirja [verkkajulkaisu]. ABB 07-2000 [Viitattu 23.3.2007]. Saatavissa <http://www.abb.com/cawp/fiabb255/816ED499BB0D20A8C2256936003E64ED.aspx>

British Railways Board and Railway Industry Association of Great Britain Technical and Standards Committee. 1984. RIA Specification No. 12

Efore OYj 1998. Stock Exchange Release [verkkajulkaisu]. Efore Oyj 16.6.1998 [Viitattu 26.2.2007]. Saatavissa http://www.efore.com/investor_relations/release/?release=34920&pubdate=16-6-1998

European Committee for Electrotechnical Standardization. 2001. EN 50155.

IL-Power Oy. LPS-225 laboratorioteholähde.

Kauko, M. Elektroniikkasuunnittelija. Teknoware Oy. Ilmarisentie 8. 15200 Lahti. Neuvonantotilaisuudet syksy 2006.

Mattila, H. Tuotekehityspäällikkö. Teknoware Oy. Ilmarisentie 8. 15200 Lahti. Palaveri syyskuu 2006.

Mattila, H. Tuotekehityspäällikkö. Teknoware Oy. Ilmarisentie 8. 15200 Lahti. Työn tarkistus/korjauspalaveri 16.3.2007

MC68HC908JK8 datasheet. 2005.[verkkajulkaisu]. Freescale Semiconductor 3/2005 [Viitattu 28.2.2007]. Saatavissa http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC68HC908JL8.pdf

MC68HC908JK3 datasheet. [verkkajulkaisu]. Freescale Semiconductor 1/2005 [Viitattu 28.2.2007]. Saatavissa http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC68HC908JL3.pdf

Teknopower Oy. [verkkajulkaisu]. Teknopower Oy [Viitattu 16.3.2007]. Saatavissa <http://www.teknopower.fi/>

Teknoware Oy. Valoisasti eteenpäin [verkkajulkaisu]. Teknoware Oy a [Viitattu 26.2.2007]. Saatavissa <http://www.teknoware.fi/index.php?nav=138>

Teknoware Oy. Maailmalla Toimii Luotettavasti Miljoonia Inverttereitämme [verkkajulkaisu]. Teknoware Oy b [Viitattu 23.3.2007]. Saatavissa <http://www.teknoware.fi/index.php?lang=1&nav=94>

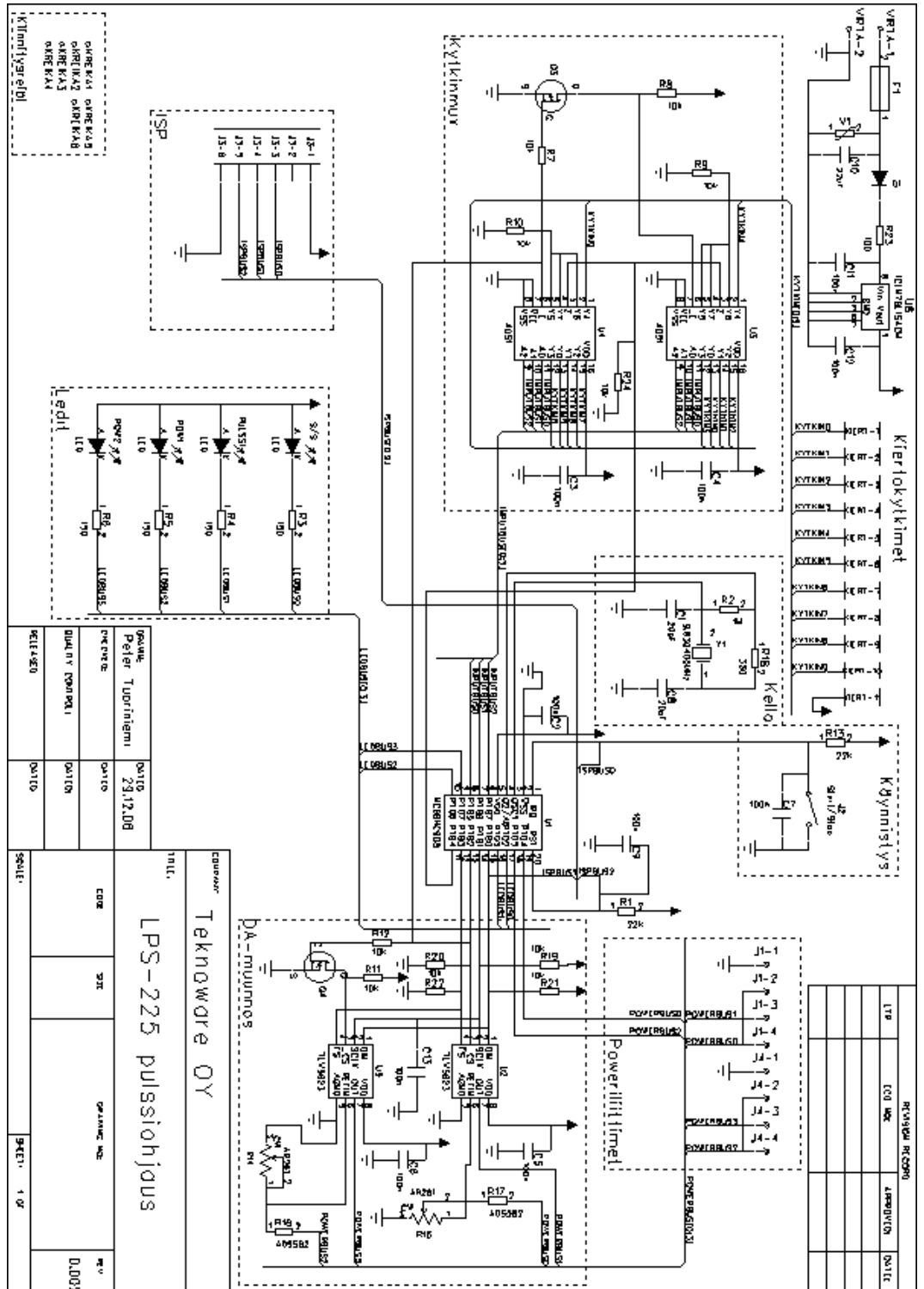
Teknoware Oy. Turvallista Ja Luotettavaa Valaistusta [verkkajulkaisu]. Teknoware Oy c [Viitattu 23.3.2007]. Saatavissa <http://www.teknoware.fi/index.php?nav=88>

TLV5623 datasheet [verkkajulkaisu]. Texas Instruments Incorporated 1999 [Viitattu 26.2.2007]. Saatavissa <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/tlv5623.pdf>

LIITTEET

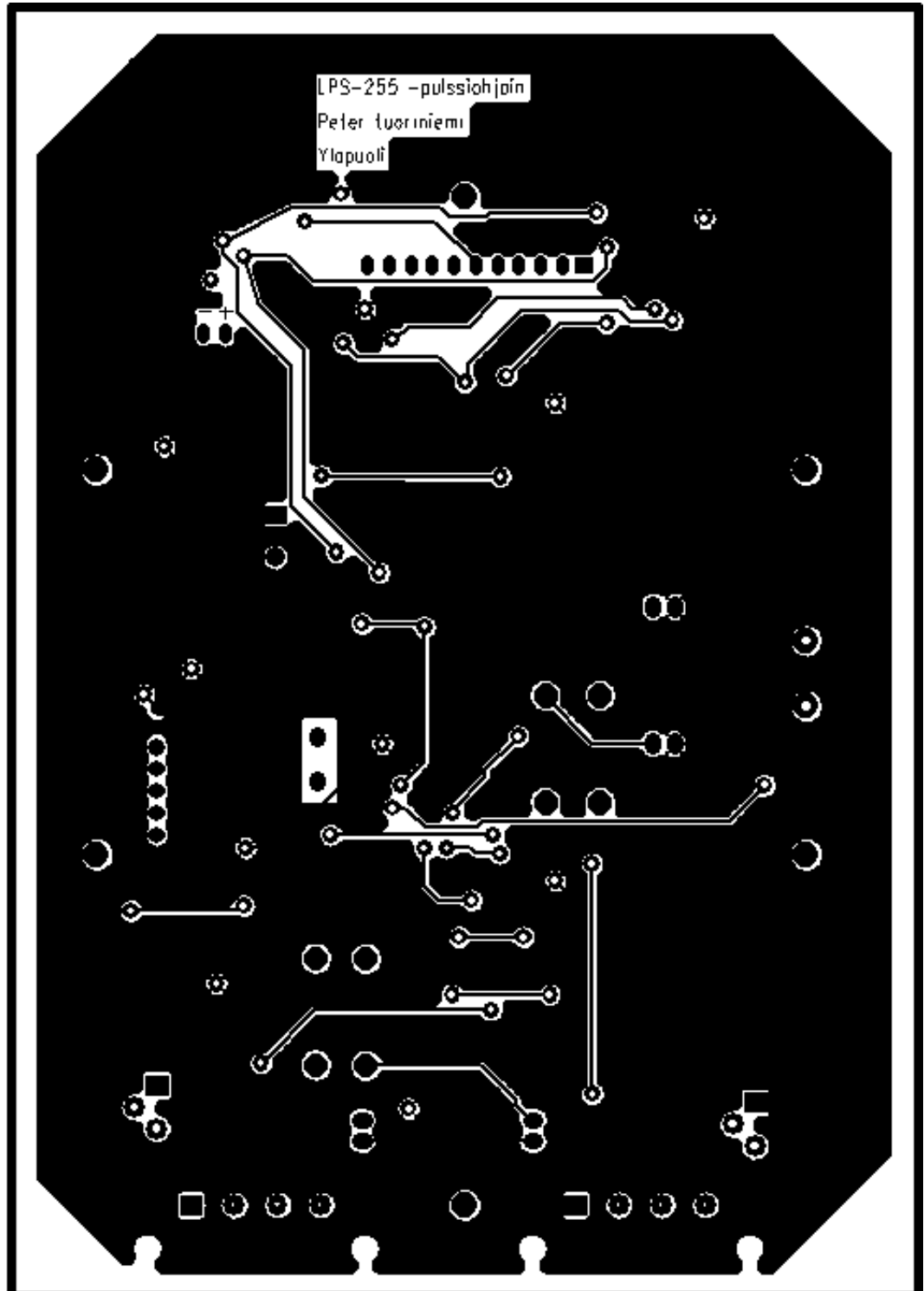
LIITE 1

Piirikaavio

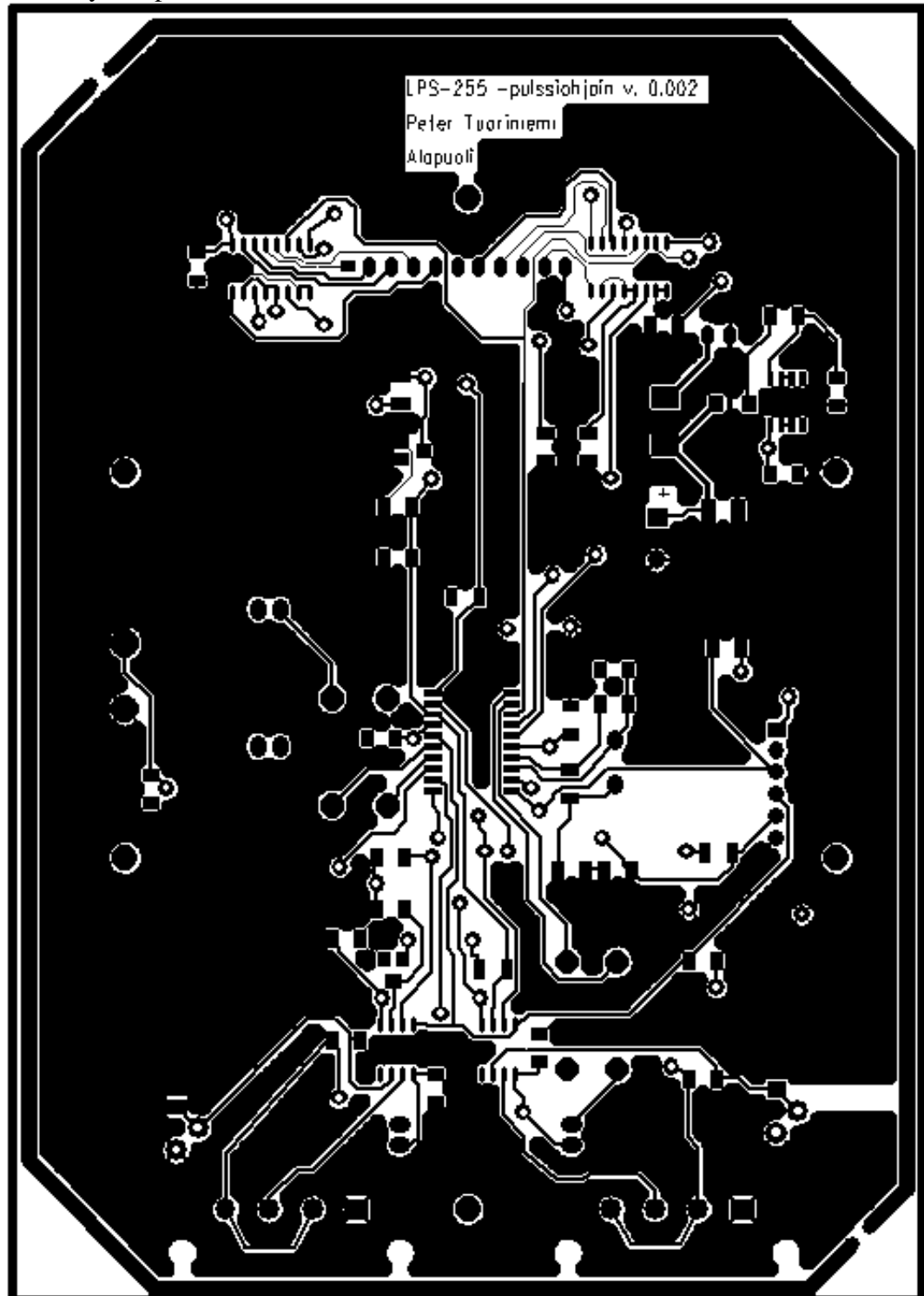


Teknoware OY		Dä-muunnos	
Osoite: Pöytäkatu 10, 00100 Helsinki		Laitteen nimi: LPS-225 pulsionhoitus	
Yhteyshenkilö: Petteri Tuomi		Puhelin: 09-2512008	
Sähköposti: petteri@teknoware.fi		Suunnittelija: Petteri Tuomi	
Puhelin: 09-2512008		Päiväys: 10.10.2007	
Käyttökäsi: Petteri Tuomi		Käytetty: 10.10.2007	
Käytökäsi: Petteri Tuomi		Käytetty: 10.10.2007	
Käytökäsi: Petteri Tuomi		Käytetty: 10.10.2007	

Piirilevyn yläpuoli



Piirilevyn alapuoli




```

unsigned char S_BLINKLASK;           //S_S -ledin vilkkumislaskuri
unsigned char TIMER_LASK = 0;

const int ajat [3] = {29600, 114, 1000}; //Odotusajat ovat tässä taulukossa.
//           110s 1100msl 1s l
const char jan[25] = { 30, 45, 60, 90, 69, 70, 105, 140, 210, 161, 62, 94, 125, 188, 143, 50, 75, 100,
150, 115, 75, 113, 150, 225, 172};
//Funktoesittelyt
void jannite (char voltage); //Jännitteen asettaminen
void luku (void); //Kiertokytkimien tilan lukeminen
char pow_tark(void); //Powerien tunnistus
void pulssi(void); //Ajastinkeskeytyksen pulssituspalvelu
void poweri(void); //Ajastinkeskeytyksen tilan tarkistuspalvelu
void kytkin_v(void); //Kytkinvärähtelyjen suotofunktio

//Aikakeskeytykset
void __TIM_O (void)
{
    char apu=T1SC;
    T1SC = TIME1;
    TIMER_LASK++;
    pulssi();
    if (TIMER_LASK >= 250) //1ms * 250 ~ = 0,25s
    {
        if (SEMAPH == 0)
        //Ettei tehdä useita rinnakkaisia lukuja ja mene koko systeemi sekaisin.
        poweri();
        TIMER_LASK = 0;
    }
    if (VIBRA != 0)
        kytkin_v();
}

//Ulkoinen keskeytys
void __IRQ (void)
{
    INTSCR = 0x06;
    //kielletään IRQ
    if (!KIELT) //Jos ulostulo sallittu
    {
        STOPPI= !STOPPI; //Vaihdetaan ulostulon tilaa
        S_S = !STOPPI; //Stopin tila S_S -ledille
        S_BLINK = 0; //Kielletään S_S -ledin vilkkuminen
        AIKLASK = 5000; //Laskuriin alustetaan aloitusarvo käynnin
        //tymisen varmistamiseksi
        STATE = 1; //Tila pulssille, että seuraavana on tavoite
        //jännite
        jannite(jan[START_VOL]); //Asetetaan alussa 100% jännite
        //jotta laite varmasti syttyy, mutta
        //ei välttisi heti hajoa
    }
    else
    {
        S_BLINK = 1;
        S_BLINKLASK = BLINK+1;
    }
    VIBRA = 1; //Asetetaan lippu tapahtuneesta keskeytyksestä
}

```

```

void main(void)
{
    //Alustukset
    DDRD.2    = 1;           //
    DDRD.3    = 1;           //
    DDRD.6    = 1;           //
    DDRD.7    = 1;           //Lediporttien suunta alustetaan
    DDRD.4    = 0;           //
    DDRD.5    = 0;           //Powerien tunnistusportit
    DDRB.0    = 1;           //DIN
    DDRB.1    = 1;           //SCLK
    DDRB.2    = 1;           //_CS
    DDRB.3    = 1;           //FS
    DDRB.4    = 0;           //Kytkimien Z
    DDRB.5    = 1;           //
    DDRB.6    = 1;           //
    DDRB.7    = 1;           //Kytkimuxi
    CONFIG1 = 0x10;         //00010000
    CONFIG2 = 0x10;         // 0001 0000
    //Timer1
    T1SC    = TIME1;        //Timer1:n esijakaja
    T1MODH  = 0x02;        // Keskeytystaajuus H
    T1MODL  = 0x6A;        // Keskeytystaajuus L
    //IRQ
    INTSCR  = 0x04;        //IRQ:n asetukset. Nollataa latchingi
    //Portit
    S_S     = 1;
    PULSSI  = 1;
    POW1    = 1;
    POW2    = 1;
    CS      = 0;
    FS      = 1;
    jannite(0);
    CLI();           //Sallitaan keskeytykset
    while (1)
    {
        COPCTL = 0xff;
        //Nollataan COP -rekisteri, jottei tule resettiä
    }
}

```

//Jännitteen valinnan mahdollistava funktio

```
void jannite(char VOLTAGE)
```

```

{
    char TEMP_CS = CS; //Jottei mahdollisesti kesken oleva funktio menisi sekaisin
    char j;
    char i;
    for(j = 0; j <= 1; j++) //Siirretään jännitteet molemmille DA-muuntimille
    {
        CS = !j;
        FS = 0;
        DIN = 0; CLK
    }
}

```

```

        DIN = 1; CLK
        //Speed control = 1
        if (VOLTAGE == 0 || (!PO2REQ && j))
//Tarkistetaan syötetäänkö jännite vai nollataanko ulostulo. Jos ei vaadita 2 poweria...
//...niin toisella kierroksella !PO2REQ = 1 ja j = 1, joten tulos = 1 ja nollaus tehdään.
        {
                DIN = 1; CLK
//Jos jännite nolaksi, niin samalla sammutetaan DA -muunninkin
        }
        else
        {
                DIN = 0; CLK
//Muuten pidetään muunnin päällä
        }
        DIN = 0; CLK
        for (i=0; i <= 7; i++)
//Lähetysjonon puskeminen DA -muuntimelle
        {
                DIN = VOLTAGE << i & 0x80; CLK
        }
        DIN = 0; CLK CLK CLK CLK
        FS = 1;
}
CS = TEMP_CS;          //Palautetaan CS:n tila siihen mikä se oli alussa.

}

//Luetaan kiertokeytkimien tilat ja talletetaan tiedot arvotaulukkoon. Käydään rautavikojen takia
//kaikki kytkimet läpi
void luku(void)
{
        bits MUXI = 0;
//Jotta saadaan laskettua kytkimien osoite helpohkosti
#define MUX_1          MUXI.0
#define MUX_2          MUXI.1
#define MUX_3          MUXI.2
#define LOYTY          MUXI.7
        CS = 1;
        char KYTKIN;
        char TEMP_JAN;          //Väliaikaiset jännitteet
        char TEMP_PROP;        //Väliaikaiset säädöt
        for (KYTKIN=0; KYTKIN < 9; KYTKIN++)
        {
                MUX1 = MUX_1;
                MUX2 = MUX_2;
                MUX3 = MUX_3;
//Valitaan muxin osoite
                MUXI++;
//Jos saadaan arvo
                if (ZETA)
                {
                        if (KYTKIN <= 4)
                                TEMP_JAN = KYTKIN;
                                //Jännitetieto tilapäistalteen
                        else
                                TEMP_PROP = KYTKIN - 5;
                                //Saadaan offsetit kohillee
                        LOYTY += 1;
                }
        }
}

```

```

//Tässä vaiheessa on jo tarkistettu muxin vika haluttu osoite. Siksi tässä vaiheessa jo alustetaan
// arvot seuraavalle muxille. Säästytään yhdeltä ylimääräiseltä kierrokselta
        if (KYTKIN == 4)
        {
                CS= 0;
                MUXI= 0;
        }
}

//Tarkistetaan powerien tarve. Eli jos vaaditaan suuri jännite, niin vaaditaan kaksi poweria, muuten
//1 poweri vaadittu
        if (TEMP_JAN == 4)
        {
                PO1REQ = 1;
                PO2REQ = 1;
        }
        else
        {
                PO1REQ = 1;
                PO2REQ = 0;
        }

//Rautavian varalta
        if (LOYTY != 2)
//Jos jompikumpi tietotyyppi (jännite tai toiminto), puuttuu, kielletään ulostulo
        {
                KIELT = 1;
                PULSSI = 0; //Jos on rautavika, niin pulssiledi palaa
        }

        else
                KIELT = 0; //Jos kaikki OK, niin poistetaan kielto

//Otetaan talteen jännitetieto, jota käytetään laitetta käynnistettäessä
START_VOL = TEMP_JAN+15;

//Jos kaikki on OK, siirretään tilapäistiedot talteen
//Tarkastellaan mikä aikaindeksi asetetaan
switch (TEMP_PROP)
{
        case 0:
                //AIKAINDEKS                = 1;
                P_AIKA                = 0;
                OFFSU                = 1;
                OFFSET                = 5;

                break;
        case 1:
                TEMP_JAN += 5;
                P_AIKA                = 0;
                //AIKAINDEKS                = 1;
                OFFSU                = 0;
                OFFSET                = 5;

                break;
        case 2:
                TEMP_JAN +=10;
                P_AIKA                = 0;
                //AIKAINDEKS                = 1;
                OFFSU                = 0;
                OFFSET                = 5;
}

```

```

        break;
        case 3:
            TEMP_JAN +=15;
            P_AIKA           = 1;
            //AIKAINDEKS    = 1;
            OFFSU           = 1;
            OFFSET          = 5;
        break;
    }

//Jos laite on käynnissä, niin tarkistetaan onko näppäimiä hypistely
if (STOPPI)
{
    //Jos on hypistely
    if (TEMP_JAN != VOLT || TEMP_PROP != PROP_CHECK)
        KIELT      = 1;

//Kielletään ulostulo
}
//Jännitteet talteen
VOLT      = TEMP_JAN;
PROP_CHECK = TEMP_PROP;
}
//Tarkistetaan powerit.
char pow_tark(void)
{
    char OKAY = 1;
//Oletuksena kaikki on okei jollei toisin laiteta. Kaikki on OK = 1, virhe = 0
//Tarkistetaan POW1:n tila
if (!PO1DET && PO1REQ) //Jos POW1 ei tunnistettu vaikka tarvitaan
{
    POW1 = !POW1; //Vilkutetaan POW1:n lediä
    OKAY = 0; //Palautetaan virhe
}
else if (PO1DET && PO1REQ) //POW1 on OK
{
    POW1 = 0; //Sytytetään ledi
}
else if (!PO1DET && !PO1REQ) //Jos ei tunnisteta ja ei myöskään vaadita
{
    POW1 = 1; //Sammutetaan ledi
}
else if (PO1DET && !PO1REQ) //Tunnistetaan, muttei tarvita
{
    POW1 = 1;
}

//Tarkistetaan POW2:n tila
if (!PO2DET && PO2REQ) //POW2 ei tunnistettu vaikka vaaditaan
{
    POW2 = !POW2; //Vilkutetaan POW2:n lediä
    OKAY = 0; //Palautetaan virhe
}
else if (PO2DET && PO2REQ) //POW2 on OK
{
    POW2 = 0; //Sytytetään ledi
}
else if (!PO2DET && !PO2REQ) //Jos ei tunnisteta ja ei myöskään vaadita
{

```

```

        POW2 = 1;      //Sammutetaan ledi
    }
    else if (PO2DET && !PO2REQ) //Tunnistetaan, muttei tarvita
    {
        POW2 = 1;
    }
    return OKAY;      //Palautetaan tieto
}

//Pulssin tilan tarkistus. Timerin toinen osa
void pulssi(void)
{
    if (!KIELT && STOPPI)      //Jos kielto ei ole päällä ja laite käynnissä
    {
        if (AIKLASK == 0)
        {
            switch (STATE)
            {
                case 0:
                    //Jos tila on ollut odotuksessa
                    STATE = 1;
                    //Vaihdetaan tila pulssiksi
                    if (P_AIKA==1)
                        AIKLASK=ajat[2];
                    //Jos sekunnin pulssi
                    else
                        AIKLASK=ajat[1];
                    //Laskuriin haetaan arvo indeksin mukaan
                    S_BLINKLASK=1;
                    //Laitetaan 1 S_S vilkkumiseen
                    //tarkoitettuun laskuriin, että tulee yksi pulssi vilkutus
                    PULSSI = 0;
                    //Sammutetaan nyt jo pulssiledi
                    if (OFFSU)
                    //Jos offsetin suunta on (+)
                    jannite(jan[VOLT+OFFSET]);
                    //Lisätään jänniteindeksiin offset
                    else
                    //Jos offsetin suunta on (-)
                    jannite(jan[VOLT-OFFSET]);
                    //Vähennetään jänniteindeksistä offset
                    break;
                case 1:
                    //Jos tila on ollu pulssissa, eli muuten sama kuin edellä, mut päinv.
                    STATE = 0;
                    if (P_AIKA == 1)
                        AIKLASK = ajat[0]-ajat[2];
                    //Aina 30 sekuntia odotusta
                    else
                        AIKLASK = ajat[0]-ajat[1];
                    //Aina 30 sekuntia odotusta
                    jannite(jan[VOLT]);
                    break;
            }
        }
    }
    else
        AIKLASK--; //Laskurin arvoa vähennetään
}

```

```

    }
    else
    //Jos ulostulo kielletty ja/tai laite ei käynnissä
    {
        jannite(0);
        STOPPI = 0;
        if (!S_BLINK)           //Ettei vilkuttelu mene sekaisin
            S_S = 1;
    }
}

//Powerin tiloja tarkistava ja ledejä vilkuttava ajastinpalvelu
void poweri(void)
{
    SEMAPH = 1;           //Lukulippu päälle, ettei aloiteta lukuja päällekkäin
    //Jos tarvitsee vilkutella S_S -ledyä
    switch (S_BLINK)
    {
        case 1:
            //Tarvii vilkutella S_S-ledyä
            if (S_BLINKLASK > 1)
            {
                S_S = !S_S;
                //Vilkutetaan S_S-ledyä
                S_BLINKLASK -= S_S;
                //Vähennetään vilkutuslaskuria
            }
            //Kun päästään vilkuttelun loppuun
            else
            {
                S_S = 1; //Sammutetaan S_S ledi
                S_BLINKLASK = 0;
                S_BLINK = 0;
            }
            break;
            //Jos halutaan pulssivilautus
            case 0:
                //Jos vilkutuslaskurissa on jotain
                if (S_BLINKLASK == 1)
                {
                    PULSSI = 0;
                    S_BLINKLASK--;
                }
                //Muuten pidetään pulssiledi pimeänä
                else
                    PULSSI = 1;
            break;
    }

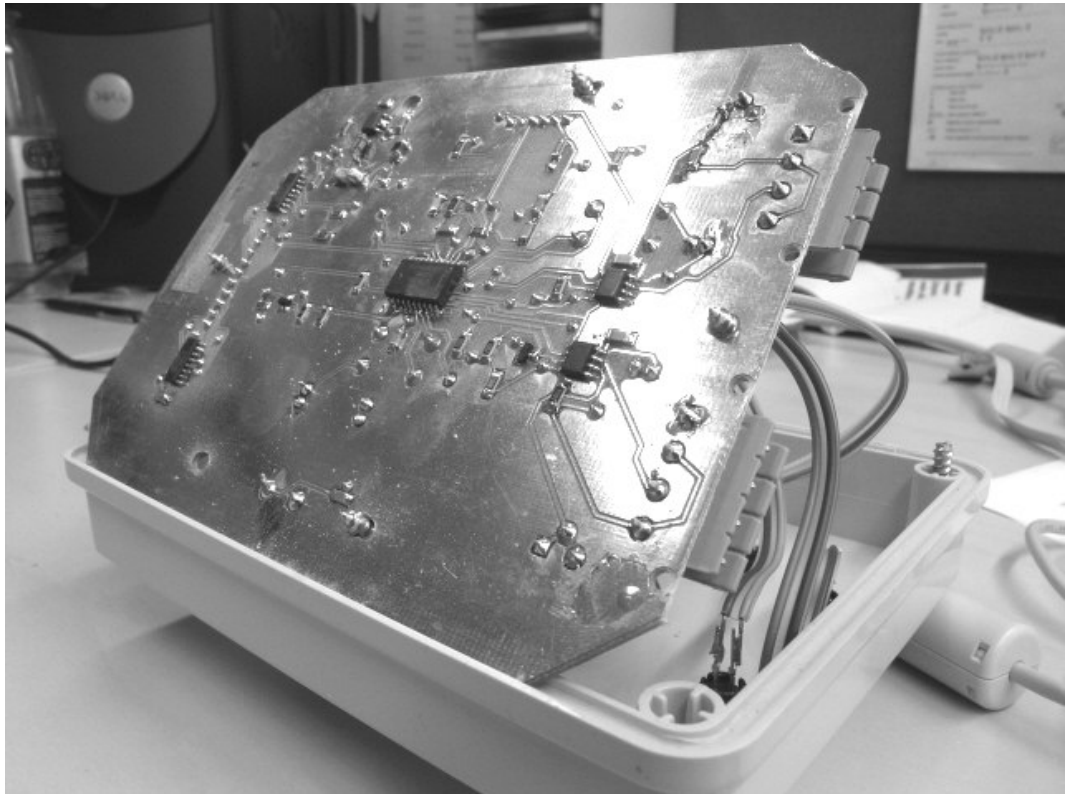
    luku();           //Kutsutaan kiertokytkimien lukupalvelua
    char power = pow_tark();
    if (!power)
    {
        KIELT = 1;
    }
    SEMAPH = 0;
}

```

```
//Kytinvärähtelyjen suodatukseen
//Kun kytkintä on painettu, kielletään IRQ määrittelyksi ajaksi
void kytin_v (void)
{
    VIBRA++;
    INTSCR    =0x06;
    if (VIBRA >=1000)
    {
        INTSCR=0x04;
        VIBRA = 0;
    }
}
```

LIITE 5

Ladottu piirilevy alapuolelta



LIITE 6

Ladottu piirilevy yläpuolelta



LIITE 7

Valmis laite

