



PIIRILEVYN SUUNNITTELU LAMPUNOHJAUSJÄRJESTELMÄÄN

Nelli Valli

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015
Tietotekniikka
Sulautetut järjestelmät ja
elektroniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma
Sulautettujen järjestelmien ja elektroniikan suuntautumisvaihtoehto

VALLI, NELLI

Piirilevyn suunnittelu lampunohjausjärjestelmään

Opinnäytetyö 32 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Huhtikuu 2015

Tämä työ tehtiin Tampereen ammattikorkeakoulun sulautettujen järjestelmien suuntautumisen opinnäytetyönä. Työn tarkoituksena oli suunnitella piirilevy lampunohjausjärjestelmään, joka toimii kasvatuslampussa. Työn tavoitteena oli antaa tehdyn piirilevyn suunnittelun ja toteutuksen lisäksi käsitys yleisesti piirilevyjen suunnitteluvaiheesta lopputuotteeseen.

Työssä käsitellään kasvatuslampun toimintaa, kytkentää ja siihen tarvittavia komponentteja. Työssä kerrotaan käytetystä piirilevynsuunnitteluohjelmasta ja kasvatuslampun käyttötarkoituksesta. Lisäksi työ antaa tietoa suunnittelun vaiheista, pintaliitoskomponenteista ja piirilevyn valmistuksesta. Työssä käsitellään myös piirilevyn suunnittelun ja itse piirilevyn virheenkorjausta.

Tehtyä piirilevyä ja sen ohjelmistoa pitäisi testata enemmän, jotta sen toimivuus voitaisiin lopullisesti varmistaa. Piirilevyn kokoon tai käytettyihin komponentteihin voidaan tehdä tarvittaessa muutoksia.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Information Technology
Option of Embedded Systems and Electronics

VALLI, NELLI
Circuit Board Design of Lamp Control System

Bachelor's thesis 32 pages, appendices 2 pages
April 2015

This work was conducted at Tampere University of Applied Sciences as thesis of embedded systems. The purpose of this project was to design a circuit board for lamp control system which operates in growing lamp. The aim of the project was to give an overview of the process from planning to a finished product in addition to designing and execution of the circuit board.

In this thesis, the function, connections and necessary components of the growing lamp were addressed. The thesis covers the used printed circuit board design program and the purpose of the growing lamp. Also, it gives information about the planning steps, surface mount components and manufacturing process. The thesis also covers printed circuit board design and the error correction of the circuit board.

More testing should be done on the printed circuit board and its programming for the functionality to be confirmed conclusively. Changes might have to be on the size of the circuit board or to the used components.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	KASVATUSLAMPPU	7
3	EAGLE-PIIRILEVYNSUUNNITTELUOHJELMISTO.....	8
4	SUUNNITTELUN KULKU	12
5	KOMPONENTIT	15
6	KYTKENTÄ	17
7	PIIRILEVYN SUUNNITTELU	20
8	VALMISTUS	23
	8.1 CNC-jyrsintä ja valotusmenetelmä.....	23
	8.2 Asennustyökalut.....	24
	8.3 Juotosaineet.....	25
	8.4 Vianetsintä ja korjaus.....	26
9	POHDINTA.....	28
	LÄHTEET.....	29
	LIITTEET	31
	Liite 1. Komponenttien hintavertailu	31
	Liite 2. Piirilevyn kytkentä.....	32

LYHENTEET JA TERMIT

ISP	In system programming, järjestelmän sisäinen ohjelmointi
ERC	Error recovery control, virheenkorjauksen ohjaus
DRC	Design rule check, suunnittelusääntöjen tarkistus
SMD	Surface mount device, pintaliitoskomponentti
ESD	Electro static discharge, staattisen sähkön purkaus

1 JOHDANTO

Kasvatuslampun ideana on parantaa kasvien kasvamista lampun liikkeen avulla. Työssä tehty piirilevy tulee asiakkaalle, ja siitä on tarkoitus tulla myyntituote. Piirilevyn suunnittelu perustui tehtyyn koekytkentään, jonka avulla saatiin laitteeseen tarvittavat ominaisuudet. Piirilevy suunniteltiin Eagle-piirilevynsuunnitteluohjelmalla, ja sen lopullinen valmistus on tarkoitus tehdä jysimellä. Työhön sisältyy myös valmiin piirilevyn testaus. Piirilevy toteutettiin kaksipuolisena.

Työn tavoitteena on antaa tietoa monipuolisesti eri kokonaisuuksista. Opinnäytetyössä on tietoa myös Eagle-piirilevynsuunnitteluohjelmasta, kasvatuslampuista, pintaliitoskomponenteista, piirilevyn suunnittelusta, eri valmistusmenetelmistä ja piirilevyn rakentamisesta yksityis- ja ammattilaisnäkökulmista. Työn asiakokonaisuudet ovat kaikki yhteydessä tehdyn piirilevyn kanssa.

Työn tarkoituksena on antaa kokonaiskuva piirilevyn suunnittelusta ja valmistuksesta. Työssä käsitellään piirilevyn valmistuksen periaatteet, jonka rinnalla käsitellään tehdyn piirilevyn valmistusta. Käsitellyt asiat esitetään siinä järjestyksessä, missä piirilevyn suunnittelun kokonaisuus etenee. Työ etenee tuotteen käyttötarkoituksesta, suunnittelun vaiheisiin, komponenttien valintaan, itse suunnitteluun ja valmistukseen.

2 KASVATUSLAMPPU

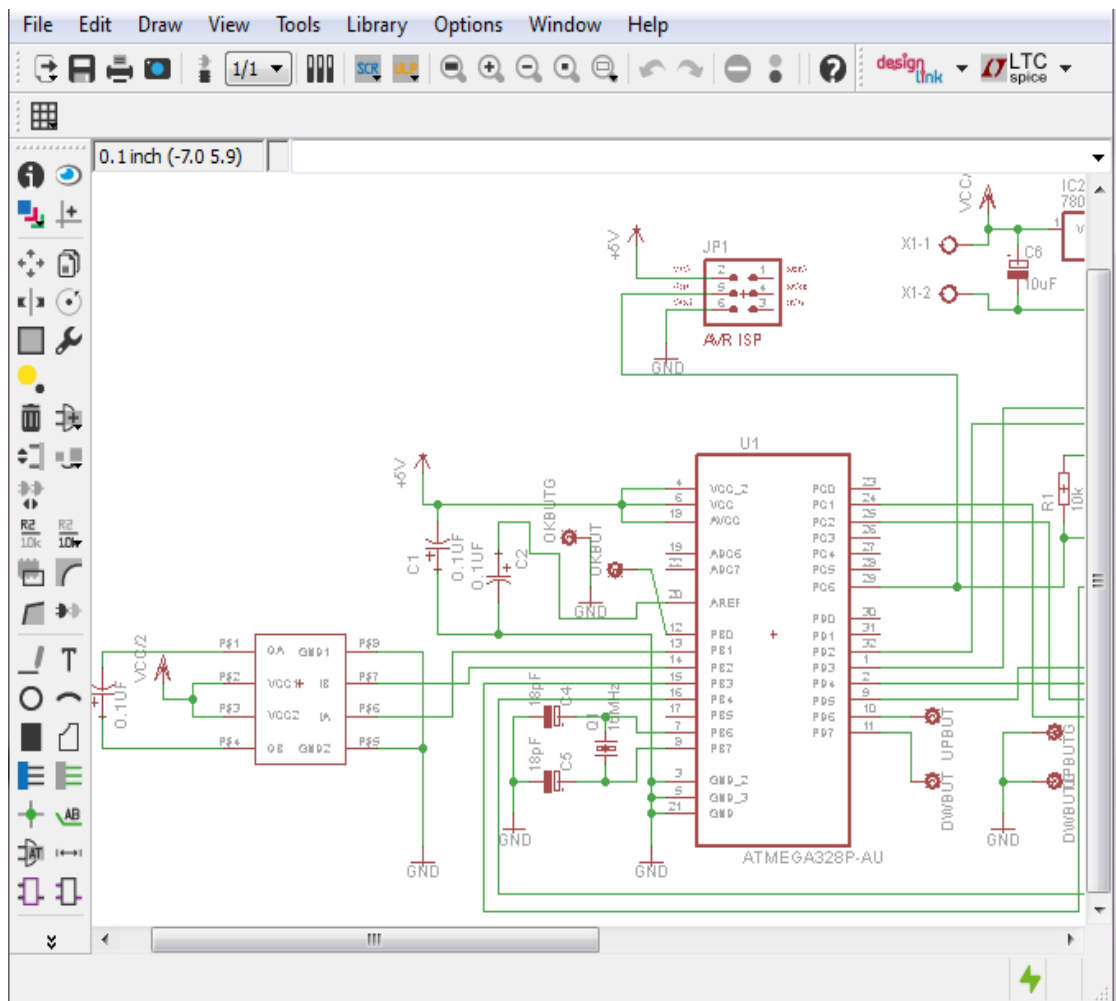
Kasvatuslampulla saadaan taimien kasvu kiihtymään ja sen avulla annetaan taimille rehevyyttä. Kasvatuslamppu tuottaa sinistä tai punaista valoa, joka jäljittelee päivänvaloa. Lamppuina käytetään elohopea- tai loisteputkilamppuja. Lamput eivät saisi tuottaa lämpöä kasveille, ainoastaan lisävaloa. Lisävaloa tarvitaan, jos taimikasvatus aloitetaan ennen helmi-maaliskuun vaihdetta (Puutarha: Lisävaloa taimille kasvilampuista).

Auringonvalo sisältää kaikki sateenkaaren värit, punaisen kautta keltaiseksi ja sinisestä violetiksi. Kasvit käyttävät koko kirjon yhteyttämiseen, mutta sininen ja punainen valo ovat kriittisin kasvin kannalta. Punainen valo stimuloi kasvin kasvua ja kukintaa, mutta jos kasvi saa liikaa punaista valoa, siitä tulee pitkä ja hontelo. Sininen valo säätelee kasvin kasvua, jonka ansiosta siitä tulee tarpeeksi lyhyt ja se saa tukevat taimet (Gardener's supply company 2015).

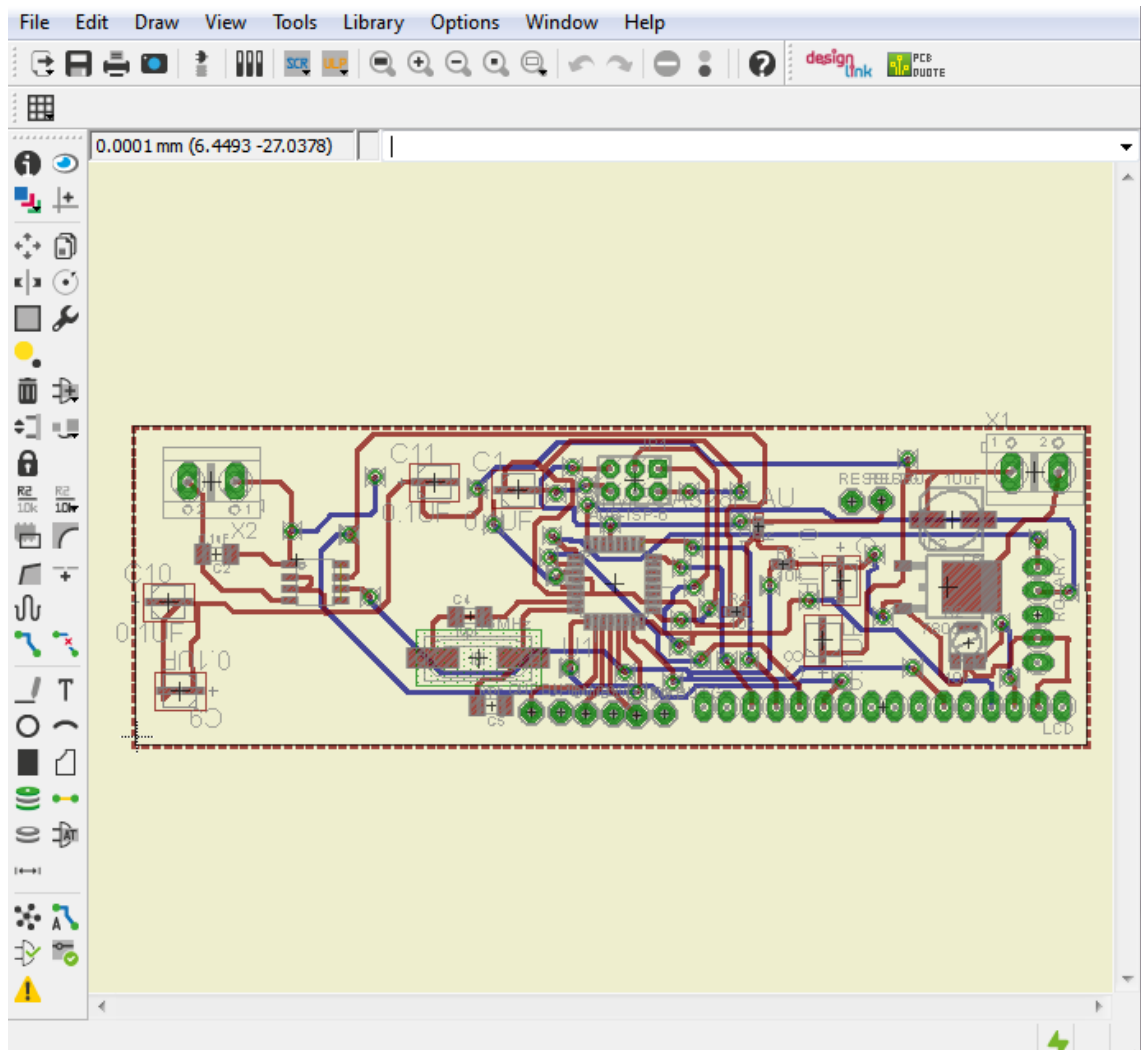
Tarvittava valon voimakkuus on erilainen eri kasveille, sitä säädetään lampun tehon perusteella ja sen miten lähellä kasvi on valonlähdettä. Kasvit, jotka tulevat trooppisilta alueilta tai varjoisista metsistä, eivät tarvitse niin paljon valoa, kuin kasvit, jotka kehittyvät kuivassa aurinkoisessa ilmastossa. Loisteputket tuottavat kaksi tai kolme kertaa enemmän valoa kuin hehkulamput samalla määrällä energiaa. Loisteputken tuottama valon väri määräytyy lampun lasin sisäpuolella olevan fosforipäällysteen perusteella (Gardener's supply company 2015).

3 EAGLE-PIIRILEVYNSUUNNITTELUOHJELMISTO

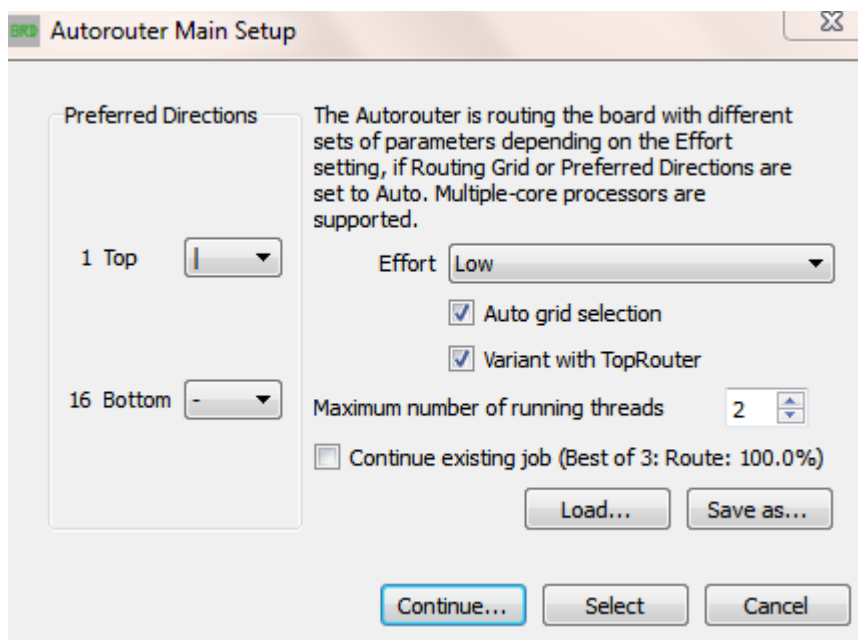
Piirilevy suunnitellaan Cadsoft Eagle –piirilevy-suunnitteluohjelmistolla. Eagle koostuu Schematic Editor –osasta (kuva 1), jota käytetään kytkentäkaavion muodostukseen, Layout Editor –osasta (kuva 2), jota käytetään piirilevyn komponenttien asettamisen ja johdotuksen suunnitteluun, ja Autorouter –osasta (kuva 3), jota käytetään apuna automaattiseen johdotukseen (Jämsä 2010).



KUVA 1. Eaglen Schematic Editor



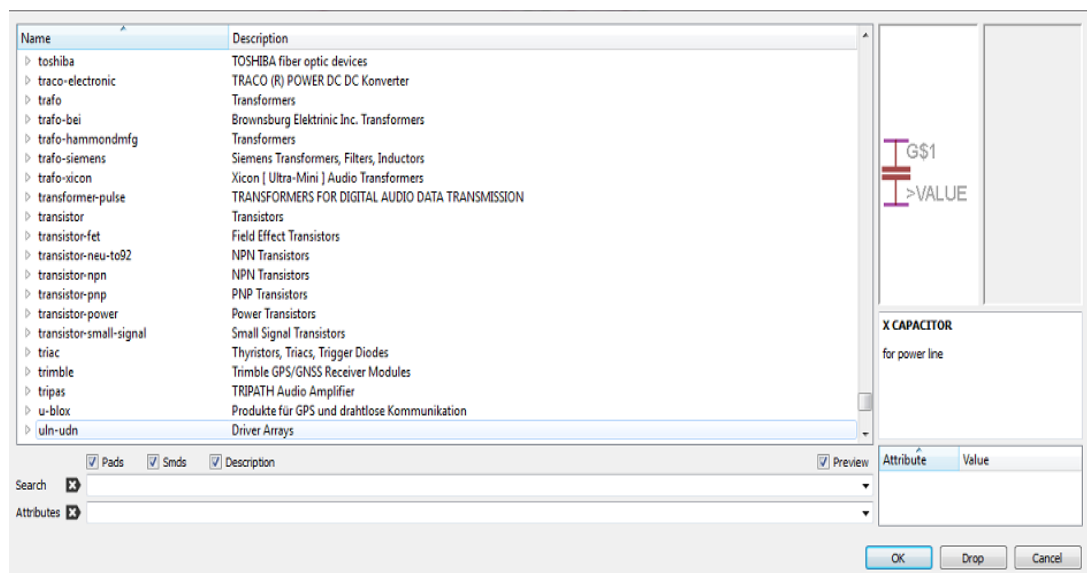
KUVA 2. Eaglen Layout Editor



KUVA 3. Eaglen Autorouter

Schematic Editor –osan ominaisuuksia on automaattinen johdotuksen numerointi, yksinkertainen osien kopiointi, toimintojen ja komponenttien sujuva muuttaminen kytkentäkaavion ja layout-osan välillä, ERC-virheentarkistus ja automaattinen piirilevyn layout-osan luonti samaan aikaan, kun kytkentäkaaviota rakennetaan. Layout Editor –osassa voidaan piirilevy tehdä kokoon 4 m x 4 m. Lisäksi komponentteja voidaan mielivaltaisesti kiertää 0,1 astetta, tekstiä voidaan sijoittaa haluttuun asentoon ja virheenkorjauksessa käytetään DRC-toimintoa. Autorouter-osassa johtimien sijoittelussa minimirasteri on 0,02 mm, pystytään vaihtamaan reititystä automaattisen ja manuaalisen välillä, pystytään reitittämään enintään 16 kerrosta ja ohjelmiston asetuksilla voidaan vaikuttaa autorouterin reitityisperiaatteisiin (Cadsoft 2011).

Eaglea voidaan käyttää Windows-, Mac- ja Linux-käyttöjärjestelmillä. Eagleen on paljon erilaisia komponenttikirjastoja, joista monet löytyvät jo asennuksen yhteydessä. Kuvassa 4 näkyvät esimerkiksi valikot transistoreista, joiden alavalikoissa on vielä kymmenittäin eri valintavaihtoehtoja. Komponenttikirjastoja on esimerkiksi Cadsoft ja SparkFun Electronicsin internetsivuilla. Lisäksi paljon komponenttikirjastoja on element14-sivuilla (kuva 5), jossa kirjaston komponentit on lajiteltu komponenttien valmistajien mukaan (Jämsä 2010).



KUVA 4. Eaglen komponenttikirjaston valikko

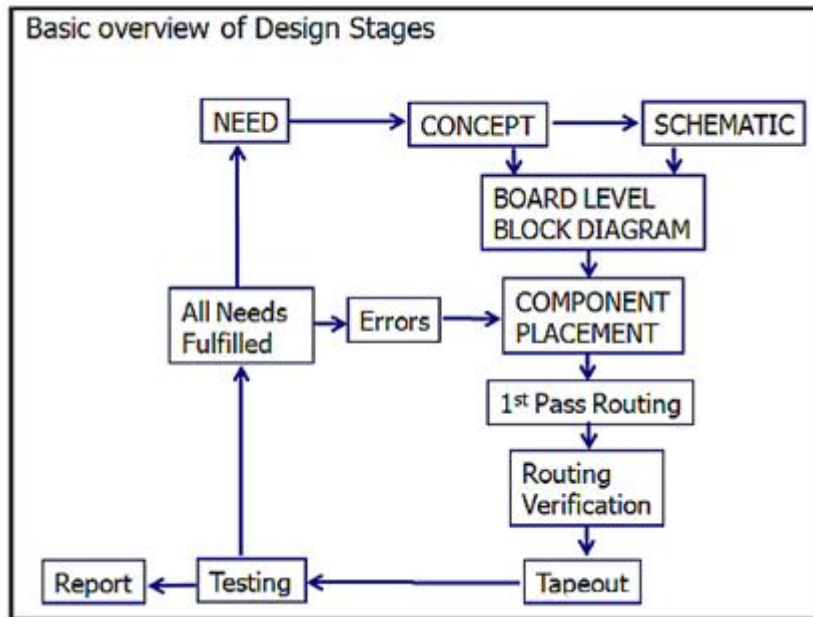
Suppliers Name			
3M	Allegro	Alliance Memory	Altera
AMIC	Amphenol	Analog Devices	Atmel
Avago	AVX	Bourns	BSI (Brilliance Semiconductor)
Catalyst Semiconductor	Chicago Miniature	Cirrus Logic	Coiltronics
Cypress Semiconductor	Dialight	DIODES INC	Epcos
Exar	Fairchild	FCIFCI	Freescale
FTDI	Fujitsu	Hirose	Holtek
Intersil	Infineon	International Rectifier	ISSI (Integrated Silicon Solutions)
JAE	Kemet	Linear Technology	Littelfuse
Maxim	Micrel Semiconductor	Microchip	Molex
Multicomp	Murata	National Semiconductor	NXP
OMRON Electronics	ON Semiconductor	Panasonic	ROHM
Samtec	Semtech	Sipex	Spansion
SST (Silicon Storage Technology)	ST Microelectronics	Susumo	Taiwan Semiconductor
Taiyo	Texas Instruments	Toshiba	Tyco Electronics
Vishay	Welwyn	Würth Electronics	Xilinx
Yageo			

KUVA 5. Kirjaston valikko element14-sivuilta (element14 Community, 2015)

Farnell tarjoaa osalle komponenteista tiedoston, jota voidaan käyttää suoraan Eagle-ohjelmistossa. Tiedosto sisältää komponentin piirrosmerkin ja juotostäpläkuvion. Tämä oli työssä erittäin hyödyllistä, koska piirilevyyn saatiin suoraan varmasti oikean pakkauskoon mukainen juotostäpläkuvio. Mikäli yksittäisistä komponenteista on tehty Eagleen sopiva tiedosto, se näkyy komponentin tuotetietojen alta. Eagle-tiedoston lataamiseksi täytyy kuitenkin tehdä tunnukset Farnellin sivuille. Eaglesta on olemassa maksullinen ja ilmainen versio. Ilmaisessa versiossa on mahdollisuus tehdä vain yksi- tai kaksipuolinen piirilevy, ja piirilevyn koko on rajoitettu maksimissaan 100 mm x 80 mm kokoiseksi. Eaglen käytön opettelusta on paljon videoita ja kirjallisia ohjeita internetissä. Ohjeita löytyy esimerkiksi Eaglen omilta internetsivuilta ja yksittäisten käyttäjien tekeminä (Jämsä 2010).

4 SUUNNITTELUN KULKU

Projektin suunnittelu alkaa aina tarpeesta, jonka perusteella ominaisuudet ja toiminnot määritetään (kuva 6). Tarpeen ja ominaisuuksien määrittämisen jälkeen mietitään välttämättömiä toimintoja, liitäntöjä ja lopullisia mittoja. Komponenttien ja muiden materiaalien valintaan vaikuttaa toimintaympäristö (Smith 2014).



KUVA 6. Piirilevysuunnittelun kulku (Smith 2014)

Tämän jälkeen aletaan suunnitella kytkentäkaaviota, jonka perusteella valitaan lopulliset mitat ja komponentit sijoitellaan toimintojen, lämpösuunnittelun ja kohinan perusteella. Sähköisesti hyväksyttävät komponentit valitaan ja materiaalikuluja voidaan alkaa laskea. Komponenttien valintaan vaikuttaa saatavuus, hinta ja koko. Komponenteilta vaadittavat tiedot ovat määrä, komponenttinumero, arvot, koko piirikortilla sekä valmistajan tuotenumero. Kytkentäkaaviot ohjaavat toimintaa, joten niiden pitää olla selkeitä. Kytkentäkaavioista pitää pystyä lukemaan nastojen numeroinnit, nimet ja arvot. Kytkentäkaavioon sulautetaan valmistajan tuotenumero, ja komponenttien tarvitsema tila määrittää koteloinnin (Smith 2014).

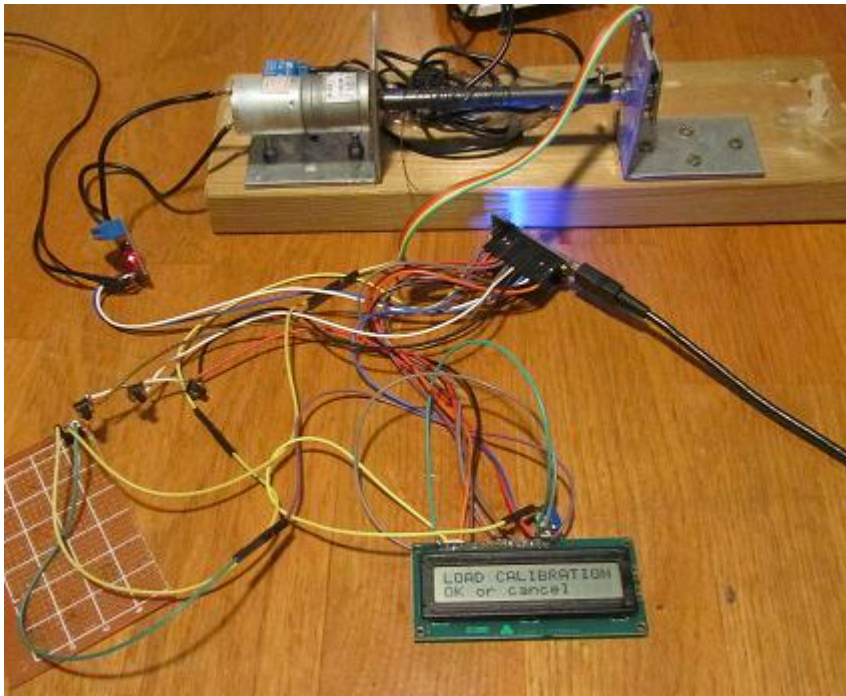
Piirilevyn suunnitteluun ja valmistukseen tarvitaan paljon dokumentointia. Dokumentointi sisältää piirilevyn ja komponenttien mitat, kytkentäkaaviot, kokoonpanopiirustukset ja ohjeet, kustannukset, sijoittelutiedoston sekä Gerber-tiedostot. Komponenttien ja

liitäntöjen paikkojen määrittämisen jälkeen tarkistetaan komponenttien sijoittelun arviointi, jotta voidaan optimoida suorituskykyä ja helpottaa reititystä. Sijoittelua ja komponenttien kotelokokoja voidaan joutua miettimään uudestaan koon ja kustannusten takia (Smith 2014).

Erityistä sähkö- ja lämpösuunnittelua tarvitsevat komponentit, jotka kuluttavat tehoa yli 10 mW tai johtavat virtaa yli 10 mA. Johtimien muodolla, pituudella ja sijainnilla, suhteessa maatasoon ja toisiin johtimiin on vaikutusta johtimen aaltoimpedanssiin, induktanssiin ja kapasitanssiin. Häiriöille arat signaalijohtimet pitäisi suojata kohinan lähteiltä kuparipinnalla. Toimintalämpötilaa lasketaan lisäämällä sähkö- tai maakerroksia, jotka liitetään lämmönlähteisiin monien läpivientien kautta. Komponenttien toiminnan lämpötilaan vaikuttaa kerrosten määrä, kuparin paksuus ja levyn ala (Smith 2014).

Komponentit sijoitellaan niin, että ensin liittimet, tehopiirit, tarkkuuspiirit, kriittiset komponentit ja sitten loput komponentit. Reititysjärjestykseen vaikuttavat piirien häviöteho, kohina-alttius ja reititettävyyys. Kerrosten määrään vaikuttaa tehotaso ja monimutkaisuus, ja kerroksia lisätään tarvittaessa pareittain. Lopullisessa tarkistuksessa varmennetaan herkkien kohtien ja piirin suojaus kohinalta ja juotosmaskin oikea sijoittuminen (Smith 2014).

Tässä työssä piirilevyn suunnittelu perustui koekytkentään, joka teki tarvittavat toiminnot. Koekytkennän ideana oli liikuttaa DC-moottorin avulla siimaa, jonka avulla lampun liike saadaan aikaan. Koekytkentä oli toteutettu Arduino Nano 3.0 -elektroniikkaalustalla, lisäksi kytkennässä oli LCD-näyttö, H-silta, rotary encoder, trimmeri ja tarvittavat painikkeet näytön ohjaukseen (kuva 7).



KUVA 7. Koekytkentä

Työssä käytetään pintaliitoskomponentteja. Piirilevyssä ei käytetä Arduino Nano –elektroniikka-alustaa, joten kytkentäkaavioon suunniteltiin sen ominaisuudet, kuten mikrokontrolleri, tarvittavat kondensaattorit, vastukset ja kide. Myöskään erillistä H-siltakytkentää ei käytetty sellaisenaan, vaan sen H-siltapiiriä. Kytkentään suunniteltiin myös jänniteregulaattori ja trimmeri, sekä paikat painikkeille. Näyttö ja rotary encoder tulivat piikkirimoilla kiinni piirilevyyn. Kytkennässä on myös mukana liittimet käytösähkölle ja moottorille. Kytkentään laitettiin myös jänniteregulaattori ja liitin AVRISP:lle, jotta prosessori voitiin ohjelmoida.

Komponentit valittiin sen hetkisen saatavuuden ja hinnan perusteella. Asiakkaalle tehtiin vertailun vuoksi lista tarvittavista komponenteista ja hinnoista Elfa- ja Farnell-komponenttimyyjien sivuilta (liite 1). Komponentit tilattiin Farnell-sivuilta niiden edullisemman hinnan perusteella. Tämän jälkeen valittiin komponenttien mukaiset pakkauskoot ja asetettiin ne oikein. Piirilevyn koko valittiin siten, että asiakkaan tarpeet täyttyivät ja komponentit mahtuivat levyille.

Lopuksi piirilevystä tarvittiin Gerber-tiedostot, jotta se voitaisiin tehdä jyrsimellä. Lopulliset testit piirilevyn toimivuudesta tehdään yleismittarilla ja oskilloskoopilla. Piirilevyn koteloinnista huolehtii asiakas itse.

5 KOMPONENTIT

Pintaliitoskomponentteja (SMD) käytetään, koska kytkennät ovat monimutkaistuneet ja toimintoja halutaan lisää, lisäksi laitteen koko on yhä tärkeämmässä roolissa. Pintaliitoskomponenteissa ei ole kytkentäjohtimia, joten ne ovat myös halvempia valmistaa. Etenkin monikerroksisiin piirilevyihin saadaan paljon toimintoja SMD-komponenteilla, koska johdotus kulkee piirilevyn sisällä. Pintaliitoskomponenttien rakenne poikkeaa reikiin asennettavista komponenteista esimerkiksi niin, että passiivikomponentit ovat suorakulmion muotoisia paloja (Rupponen 2003, 19-20).

Vastukset ovat suorakaiteen muotoisia keraamisia paloja, joihin on valettu vastusainetta ja päihin valettu juotospisteet metallista. Vastukseen pintaan painetulla numerokoodilla ilmaistaan vastuksen arvo. Käsisäätoiset potentiometrit ja trimmerit korvataan usein digitaalisesti ohjattavilla. Elektroninen potentiometri on mikropiiri, jonka sisällä olevasta vastusketjusta voidaan elektronisesti valita sopiva jännitteen jako ja vaikka piiristä katkaistaisiin käyttösähköt sen asetukset säilyvät (Rupponen 2003, 20, 23).

Kondensaattorien mekaaniset mitat määräytyvät käyttöjännitteen ja kapasitanssin perusteella. Keraamisia kondensaattoreita käytetään laajalla taajuusalueella. Kun oskillaattorikytkennässä käytetään kondensaattoreita, on niiden oltava stabiileja. Elektrolyyttikondensaattoreissa eristyskerroksena on alumiinioksida, eristyskerros saadaan ohueksi ja kapasitanssia saadaan paljon pieneen tilaan. Elektrolyyttikondensaattoreita valmistetaan pintaliitoskäyttöön joko suorakaiteen muotoisena palana tai pyöreänä pystyyn asennettuna (Rupponen 2003, 27, 30).

Kiteitä voidaan käyttää oskillaattorikytkennöissä, joilla ohjataan digitaalipiirien ajoitettua toimintaa. Mikropiirit sisältävät paljon toimintoja, jotka ennen vaativat lukuisia komponentteja. Elektroniikan rakentaminen pohjautuu mikropiirien käyttöön. (Rupponen 2003, 32, 38, 41).

Lampunohjausjärjestelmässä käytetyt komponentit näkyvät taulukossa 1. Työssä käytettävistä komponenteista jänniteregulaattoria käytetään käyttösähkön jännitteen pudottamiseen. Mikrokontrolleri ATmega328 suorittaa ohjelman komentoja ja hoitaa piirin toiminnallisuutta, kuten laskee moottorin nopeuden ja antaa parametreja näytölle. Mikro-

kontrolleri tarvitsee kiteen taajuuden määrittämiseen. Trimmerillä säädetään näytön kontrastia ja rotary encoder hoitaa moottorin kierrosten laskennan. Moottoria ohjataan H-siltapiirillä, ja sillä moottoria voidaan pyörittää molempiin suuntiin. Reset-painikkeen lisäksi piirilevyssä ovat up-, down- ja ok-painikkeet, joilla ohjataan näyttöä.

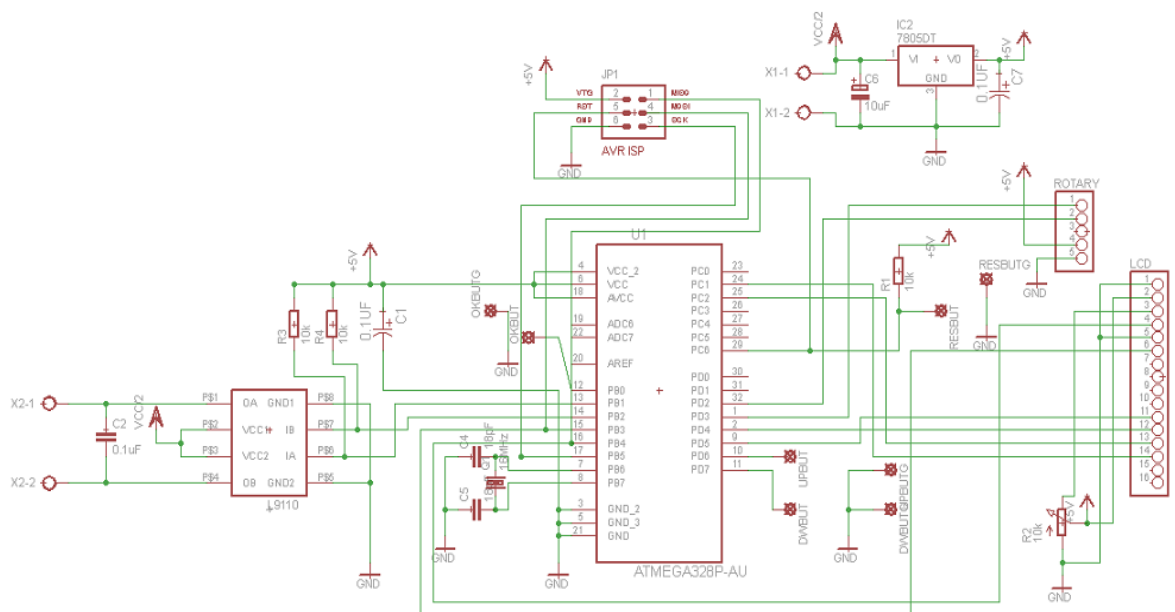
TAULUKKO 1. Työssä käytetyt komponentit

Komponentit	Malli	Kpl
Vastus (10 k Ω)		3
Kondensaattori (0,1 μ F)		7
Kondensaattori (10 μ F)		1
Kondensaattori (18 pF)		2
5V Jänniteregulaattori	MC7805CDTG	1
Mikrokontrolleri	Atmega328	1
AVRISP-liitin		1
16x2 LCD-näyttö		1
Kide (16 MHz)		1
Moottorin ohjauspiiri	L9110S	1
Rotary Encoder moduuli	KY-040	1
Trimmeri (10 k Ω)		1
Reset-painike		1
Muut painikkeet		3

Moottorina käytetään DC- eli tasavirtamoottoria, jossa sähkömagneettinen kenttä tuotetaan kestopagneeteilla tai kenttäkäämityksen avulla. Moottorin pyörimisnopeus muuttuu jännitteen muutoksen suhteessa. Kuormasta johtuva nopeuden aleneminen voidaan kompensoida elektronisella nopeudensäätimellä. Sopivan ohjauksen avulla voidaan moottorin nopeutta säätää tarkasti (Mekanex: Tasavirtamoottorit).

6 KYTKENTÄ

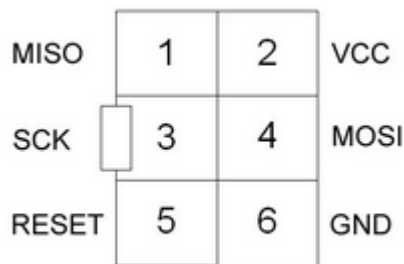
Käyttösähkö kytketään piirilevylle liittimiin X1-1 ja X1-2 (kuva 8). Regulaattorin tulo- ja lähtöliityntöihin tarvitaan kondensaattorit C6 ja C7 suodatukseen ja häiriönpoistoon. Regulaattorin tulon tarvittiin suotokondensaattoriksi elektrolyyttikondensaattori (C6). Lähtöpuolelle lisättiin kondensaattori (C7) tasaamaan regulaattorin jälkeisen kytkennän virran vaihteluita. Kytkennässä oli myös mikrokontrollerin tulosignaaleiden ylösveto-
vastukset (R3, R4) ja useita suotokondensaattoreita (liite 2).



KUVA 8. Kytkentä

H-sillalla ohjattava moottori kytketään liittimiin X2-1 ja X2-2. H-silta tarvitsee häiriönpoistokondensaattorin (C2), koska DC-moottorin ohjauksesta tulevat häiriöt halutaan vaimentaa (Ronkka 2013). Mikrokontrolleri ja siihen liittyvät oheiskomponentit valittiin Arduino-elektronikka-alustan perusteella, jotta kytkentään saatiin kaikki tarvittavat toiminnot. Mikrokontrollerille tarvittiin 16 MHz:n kide (Q1) ja kaksi 18 pF:n kondensaattoria (C4, C5). Kondensaattori jonka kapasitanssi on 0,1 uF (C1), käytetään 5 voltin jännitelinjan kohinan vähentämiseksi. 10 kΩ:n vastusta (R1) käytetään reset-linjan ylösvetovastuksena (Gammon 2011).

AVR-mikrokontrolleri käyttää ISP-liityntää ohjelmointiin. ISP mahdollistaa mikropiirin ohjelmoinnin sen ollessa juotettuna piirilevyyn. AVRISP-liityntä lisätään kytkentään 6-johtimisen piikkiriman JP1 avulla (kuva 9) ja piiriin on yksinkertaista ladata Arduinolle sen ohjelmointiohjelmistolla tehty ohjelma (Watkins 2009). Johtimista kolmea käytetään tiedon siirtoon, yhdellä hoidetaan ohjaimen resetointi ja yksi toimii maapisteenä. Kaksisuuntaista tiedonsiirtoa kelloitetaan SCK-signaalilla ja ohjelma ladataan MOSI-signaalilla tietokoneesta, kun taas paluutieto (MISO) toimii ohjaimelta tietokoneelle päin (Rupponen 2003, 184).



KUVA 9. AVRISP (Kanda.com)

LCD-näytössä on sisäänrakennettu kontrolleri, joten sitä on helppo ohjata. Näyttö toimii valon polarisaation perusteella. LCD-näytön etuna on, että sen ohjaimen on tallennettu aakkosnumeeriset merkit valmiiksi. Ohjaimelle lähetettävillä komennoilla saadaan suoraan luettavia kuvioita näytölle, eikä niitä tarvitse ohjelmoida erikseen. (The Technical Brain: 16x2 LCD control with ATmega32).

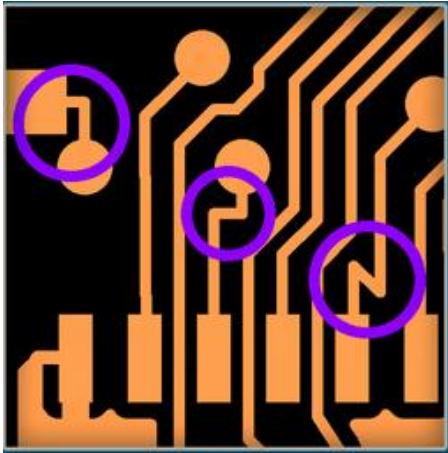
LCD-näytössä nasta 1 toimii maapisteenä, 5 voltin käyttöjännite syötetään nastasta 2. Näytön kontrasti säätyy nastaan 3 syötettävän jännitteen perusteella, jonka säätöön käytetään trimmeriä. Nastalla 4 valitaan rekisteri ja nastalla 5 valitaan, halutaanko näytöstä lukea vai näyttöön kirjoittaa. Nasta 6 sallii datan ja nastat 7-14 muodostavat dataväylän. Nastat 15-16 käytetään taustavalon liitäntään, mutta niitä tässä kytkennässä ei ole tarvittu. Kytkennässä näyttö kytketään piirilevyyn piikkirimoilla (Midas Components Ltd).

Moottorin pyörimisnopeuden mittaamiseen käytetään Rotary encoder –moduulia (KY-040). Moduulin avulla saadaan nopeasti toimiva nopeudenvälvontalaite. Moduulissa on ylös- ja alaspäin suuntaiset valmiina ja se tulee piikkirimoilla kiinni kytkentään (Banggood Ltd 2015).

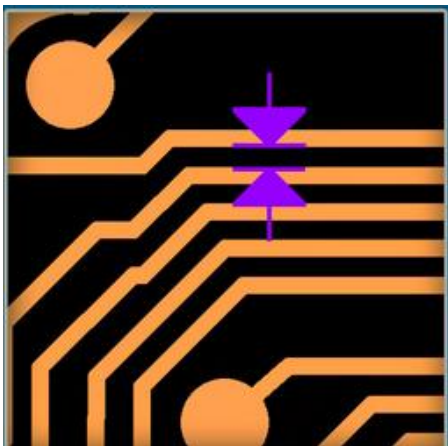
Kytkenän virheenkorojauksessa käytettiin Eagle-ohjelmistossa olevaa virheenkorojausta (ERC). Virheenkorojausta oli helppo käyttää ja se näytti suoraan kytkennästä missä virhe on. Osasta virheenkorojauksen huomautuksia ei tarvinnut välittää, kuten siitä että näyttölä tai käyttö sähköillä ei ollut erillisiä arvoja.

7 PIIRILEVYN SUUNNITTELU

Piirilevysuunnittelussa on otettava huomioon levyn paksuuden vaikutus reiän läpimitaan. Läpivientejä ei kannata tehdä liian pieniksi ja hyvä koko reiälle on 0,7-0,9 mm. Jyrksimellä voi läpivienneistä tehdä erimuotoisia. Reikien kauluksien leveydeksi suositellaan 0,15 mm - 0,20 mm reiän koon mukaan ja kaulukset voidaan tehdä pisaran muotoiseksi. Johtimien asettamisessa suoria kulmia tulee välttää, koska niissä impedanssi aiheuttaa sähkömagneettista säteilyä (kuva 10). Johtimissa yli 90 asteen kulmat aiheuttavat piirilevyn valmistuksessa haitallisia happoansoja. Eristeväliksi suositellaan vähintään 0,30 mm (kuva 11). Maa-alueen ja johtimen välillä suositeltavaa eristeväliä kannattaa aina käyttää (Prinel Piirilevy Oy 2015).

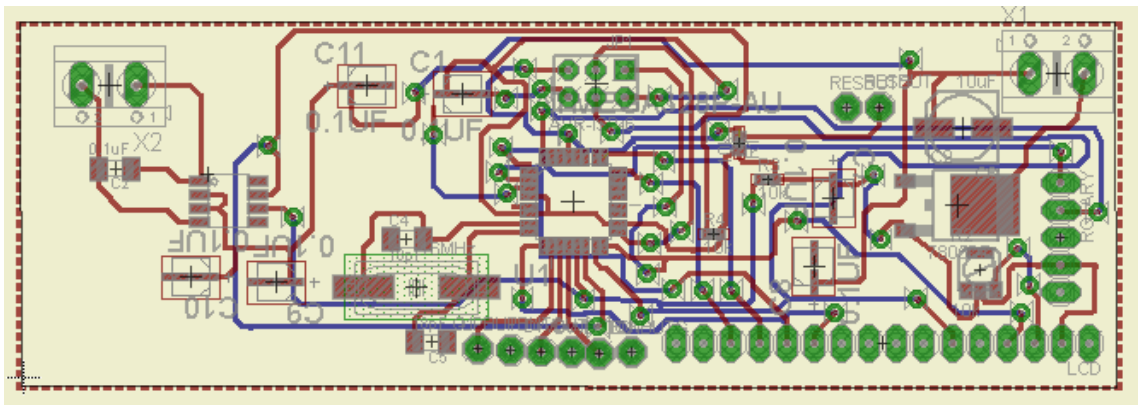


KUVA 10. Johtimien asettaminen väärin (Prinel Piirilevy Oy 2015).



KUVA 11. Liian pieni eristeväli (Prinel Piirilevy Oy 2015).

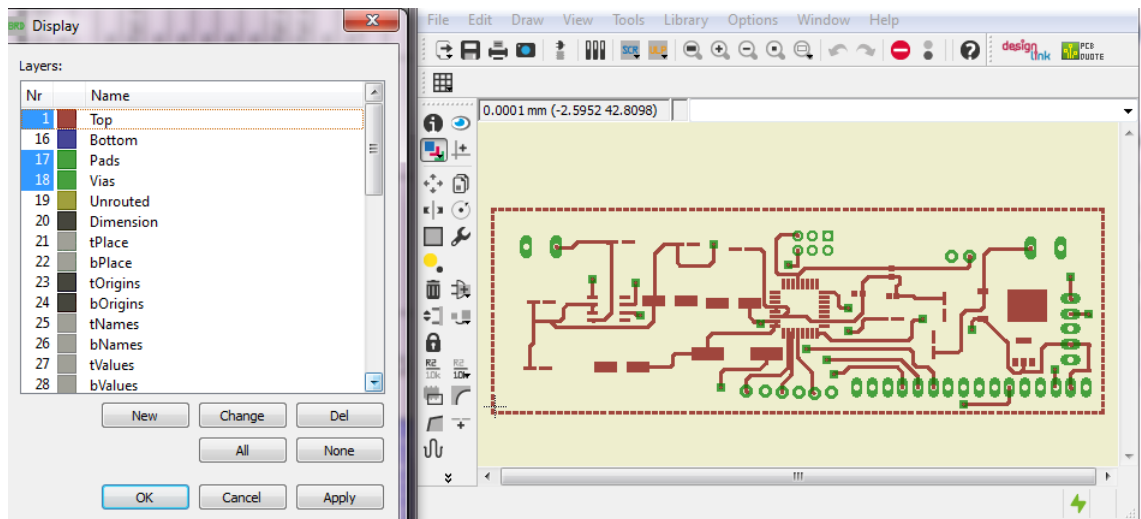
Lampunohjausjärjestelmän piirilevy suunniteltiin asiakkaan toiveiden mukaan 3,3 cm x 10 cm kokoiseksi. Piirilevyn reititys toteutettiin manuaalisesti, koska automaattinen reititys vaikutti sekavalta ja nyt tiedettiin tarkalleen mitä piirilevyssä tapahtui, vaikka manuaalinen reititys veikin paljon enemmän aikaa. Piirilevyssä on kaksi puolta: top- ja bottom-puoli. Top-puoli asetettiin kokonaan maa-alueeksi. Punaiset johtimet ovat piirilevyn top-puolella ja siniset bottom-puolella (kuva 12). Johdotukset on pyritty laittamaan mahdollisimman kauas toisistaan ja kulmat on pyöristetty. Kaikki komponentit ovat piirilevyn top-puolella, jotta sen rakentaminen testaustarkoituksessa olisi helpompaa, kuten pintaliitoskomponenttien käsin asettaminen ja juottaminen.



KUVA 12. Piirilevyn layout

Layout-puolen virheenkorojauksessa käytettiin apuna SparkFun electronics –sivun laatimaa DRC-tiedostoa suunnittelun säännöistä. Virheenkorojaus antaa apua piirilevyn johdotukseen, tasoihin ja etäisyyksiin. Suunnittelun säännöt määrittelevät muun muassa minimietäisyydet ja leveydet johtimille ja läpivientien koot. Suurimmat suunnittelun virheet olivat yksinkertaisesti korjattavissa, kuten johtimien ollessa liian lähellä toisiaan tai läpiviennit menivät liian lähelle johtimia (Sparkfun: Using eagle: Board Layout).

Eagle–piirilevynsuunnittelunohjelmalla pystytään yksinkertaisesti tarkastelemaan myös haluttuja kerroksia (kuva 13).



KUVA 13. Kerroksien tarkastelu

Gerber-tiedostojen luomiseen käytettiin Eaglen CAM Processor –toimintoa. Tehdyt Gerber-tiedostot näkyvät taulukossa 2. Gerber-tiedostoja käytetään piirilevyn jyrshintään ja jos piirilevyn haluisi tilata suoraan piirilevynvalmistajalta, lähetetään tiedostot valmistajalle.

TAULUKKO 2. Gerber-tiedostot (Sparkfun: Using eagle: Board Layout, muokattu)

Gerber File	Extension	Selitys
Bottom Copper	BGL	Pohjakupari
Bottom Silkscreen	GBO	Pohjan silkkipainatus
Bottom Soldermask	GBS	Pohjan juotosmaski
Top Copper	GTL	Yläpuolen kupari
Top Silkscreen	GTO	Yläpuolen silkkipainatus
Top Soldermask	GTS	Yläpuolen juotosmaski
Drill File	TXT	Poraustiedosto
Drill Station Info File	dri	Porauksen asematiedot
Photoplotter Info File	gpi	Valopiirturin tiedot
Mill Layer	GML	Vetokerros
Top Paste	GTP	Stansiilitiedosto

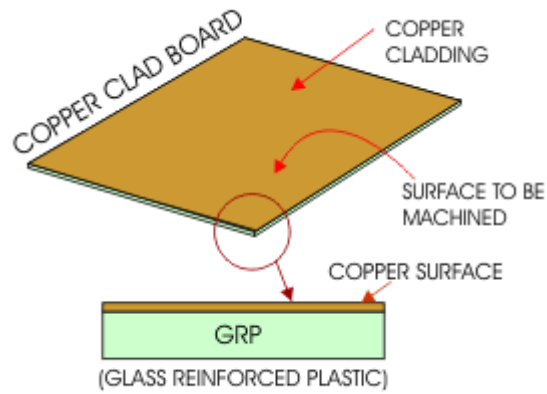
8 VALMISTUS

Seuraavissa kappaleissa käsitellään piirilevyn valmistusta ja siinä käytettäviä työkaluja. Piirilevy voidaan valmistaa jyrsimällä tai valotus- ja syövytysmenetelmällä. Jyrshintä on turvallisempi tapa valmistaa piirilevy, koska syövytysaine sisältää vaarallisia kemikaaleja. Etenkin pintaliitoskomponenttien asettaminen piirilevylle vaatii tarkkuutta, joten siihen tarvitaan oikeat työkalut. Tärkein työkalu komponenttien asettamisessa piirilevyyn on juotin.

8.1 CNC-jyrshintä ja valotusmenetelmä

Jyrhinnässä piirilevystä jyrhitään kuparikerrosta ja jätetään komponenttien juotostäplät ja johtimet levyn pintaan. Jyrhintää käytetään prototyypisten piirilevyjen valmistukseen. Valotusmenetelmässä voidaan tehdä piirilevy kahdella tavalla, tehdään itse valoherkkä kalvo aihiolle tai hankitaan piirilevyaihio joka on valmiiksi päällystetty valoherkällä kalvolla. Valoherkän kalvon saaminen tasapaksuksi on kriittistä, joten työn onnistumisen kannalta kannattaa käyttää valmiiksi päällystettyä piirilevyä (Rupponen 2003, 75-76).

Piirilevyt syövytetään käyttämällä kirkasta syövytysainetta tai ferrikloridia. Nämä ovat vaarallisia kemikaaleja jos ne koskettavat ihoa tai silmiä. Valotusmenetelmissä piirilevyihin käytetään näitä syövytysaineita ja muita ratkaisuja piirilevyn tekemisessä. Syntyntä jätettä on käsiteltävä varoen eikä sitä saa kaataa pesualtaaseen. CNC-jyrhinnässä vaarallista jätettä ei synny, koska piirilevystä jyrhitään kuparipinta ja jyrhinnästä tullut pöly voidaan heittää roskakoriin. Jyrshintä on turvallisoin tapa valmistaa piirilevy, mutta kalliimpi kuin syövytys- ja valotusmenetelmä. CNC-jyrhintää käytetään muokkaamaan ja leikkaamaan yksittäisiä prototyypilevyjä. Kuvassa 14 on kuparipäällystetty levy, joka on leikattu CNC-jyrsimellä (Ryan 2009).



KUVA 14. Kuparipäällystetty piirilevy (Ryan 2009).

8.2 Asennustyökalut

Tärkein työkalu piirilevyn kokoamisessa on juotin. Juottimen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat säädettävä lämpötila, vaihdettava juotoskärki ja ESD-suojaus. Säädettävää lämpötilaa tarvitaan komponenttien irrottamiseen tai erittäin suurten komponenttien juottamiseen. Tarkkuutta vaativissa kohteissa, kuten pintaliitoskomponenteissa juotoskärjen koko ja muoto on tärkeä. Hyvä koko kärjelle pintaliitoskomponenttien juottamiseen on halkaisijaltaan 0,2 mm. Sivuleikkurien olisi hyvä olla vinokärkiset, jotta ne sopivat mikropiirien liitoskohtien väliin ja piirin irrotus hoituu helposti. Sivuleikkurien olisi hyvä olla myös ESD-suojatut (Rupponen 2003, 90-93).

Piirilevyn kokoamisessa tärkeää on hyvä valaistus, yleisvalaistuksen lisäksi on oltava erillinen työvalo. Valmistuksessa käytetään paljon suurennuslaseilla varustettuja työvalaisimia esimerkiksi pantalaseja. Tyhjiöimuria kannattaa käyttää pintaliitoskomponenttien juottamisessa. Tyhjiöimuria käytetään komponenttiin tarttumiseen, sen asettamiseen kohdalleen kiinnitysjuotosta varten ja sen paikallaan pitämiseen juottamisen ajan (kuva 15). Johtojen kuorimiseen kannattaa käyttää siihen tarkoitettuja kuorintapihtejä (Rupponen 2003, 94-96).



KUVA 15. Tyhjiömuri (Amazon.co.uk 2015)

Ammattilaiskäytössä käytetään myös samanlaisia työkaluja, kuten sivuleikkureita, pinsettejä ja pihtejä. Juotokset hoidetaan juotosasemilla, joissa on monia juotospäitä ja tinaimuri, jota käytetään juotteen poistoon. Lisäksi laitteessa on kuumailmapuhallin, jonka käyttötarkoitus on tinapastajuotokset ja piirien irrotus. Juosten tarkastelemiseen käytetään mikroskooppia (Rupponen 2003, 97)

8.3 Juotosaineet

Juotosaineena käytetään useimmiten tinan ja lyijyn seosta. Juotteen lyijystä syntyviä höyryjä ei ole terveellistä hengittää, koska ne ärsyttävät limakalvoja. Pintaliitoksien juottamisessa kannattaa käyttää eri juotteen vahvuuksia, kookkaampiin juotoksiin 0,7 mm paksua juotetta ja pintaliitoskomponenttien kiinnitykseen ja muihin pienempiin kohteisiin 0,2-0,4 mm. Henkilöille jotka juottavat usein suositellaan lyijyttömiä juotteita, jotka sisältävät tinan lisäksi hopeaa ja kuparia. Juotteen poistoon käytetään tinaimunauhaa, joka on ohutsäikeistä kuparilankapunosista. Kuparipunos kerää sulaa juotetta hyvin, koska se on käsitelty hartsilla (Rupponen 2003, 98-100).

Nykyään RoHS-direktiivi (Restriction of Hazardous Substances) rajoittaa lyijyn käytön sähkö- ja elektroniikkalaitteissa. Muita rajoitettavia aineita ovat kadmiumi, elohopea, kuudenarvoinen kromi ja polybromattu difenylieetteri. Rajoitukset koskevat muun mu-

assa kodinkoneita, IT-laitteita, kuluttajaelektroniikkaa, valaisimia ja sähkökäyttöisiä työkaluja. Direktiiviä ei sovelleta esimerkiksi suuriin kiinteästi asennettuihin laitteistoihin tai tutkimus- ja kehittämistarkoituksessa suunniteltuihin laitteisiin, jotka on tarkoitettu vain yrityskäyttöön. Direktiivin tarkoituksena on terveyden ja ympäristön suojeleminen ja jätteiden haitallisuuden vähentäminen. Tämän direktiivin tarkoitus on myös hyödyntää sähkö- ja elektroniikkaromua ja vähentää ympäristöhaittoja (Tukes 2014).

8.4 Vianetsintä ja korjaus

Piirilevyn korjaukseen sopivat samat työkalut kuin rakentamiseenkin, juotosvälineet, pihdit, pinsetit ja hyvä valaistus. Yleismittarin mittapäiden on oltava sopivia, kuten terävä puikko ja runkoon kiinnittävä hauenleuka tai jousitettu klipsi. Ammattikäytössä on tarjolla monenlaisia mittajohtoja ja korjaukseen käytetään työasemia, jossa on monipuolisia korjausvälineitä. Yksityiskäytössä joutuu tekemään monenlaisia kompromisseja, kuten kondensaattorin arvojen mittaamisessa, johon voidaan joutua rakentamaan itse tehty mittapää jolla tartutaan komponenttiin sopivasti kiinni ja joka samalla kytkee mittajohdot juotospäihin (Rupponen 2003, 134-135).

Pintaliitospiirilevyissä tärkein juotosten korjaamiseen tarkoitettu materiaali on tinaimunauha. Imunauhan leveys määräytyy sen perusteella minkä suuruinen juotoskohde on. Suuremmissa kohdissa juotoskohta voidaan poistaa myös tinaimurilla (kuva 16). Imunauha toimii parhaiten kohdassa, jossa on vähän juotetta ja sen mukana tullutta hartsia, joten uuden nauhan päähän tehdään esijuotos. Imunauhaa ei saa myöskään katkaista niin, että siitä poistetaan kaikki juote. Imunauha painetaan juottimella poistettavaa juotoskohtaa vasten, niin lämpö siirtyy alla olevaan juotokseen ja imeytyy nauhan tyhjään osaan päin. Juotetta poistaessa käytetään suurempaa lämpötilaa, kuin komponenttia asennettaessa. Poistettava juote sulaa nopeammin eikä sen lämpö leviä laajalle alueelle. Kunnollisen imun saamiseksi nauhan kudος on pidettävä tiiviinä. Puhdistuskynää voidaan käyttää hartsijäänteiden poistamiseen. Puhdistuskynän huopakärjessä on hartsia liuottavaa nestettä (Rupponen 2003, 136-137).



KUVA 16. Tinaimuri (Direct Industry 2015)

Yleismittarin on oltava sellainen, että sen mittaustarkkuuteen voidaan luottaa. Yleismittari valitaan siten, että se näyttää tarvittavat mitta-alueet. Mikäli oskilloskoopin hinta on liian korkea yksityiskäyttöön, voidaan käyttää tietokoneisiin liitettäviä laitteita oskilloskoopin kuvan tuottamiseen. Tällaiset laitteet eivät välttämättä ole tarpeeksi tarkkoja, joten voidaan myös käyttää oskilloskooppia, jossa yhdistyy yleismittari ja logiikka-analysaattori (Rupponen 2003, 137-138).

9 POHDINTA

Työtä tehdessä käytettiin ensimmäistä kertaa piirilevynsuunnitteluohjelma Eaglea. Eaglen käytön etuna olivat monet komponenttikirjastot ja ohjeiden löytyminen nopeasti ja useasta eri lähteestä. Ohjelman avulla oli myös helppoa muuttaa kytkentää ja vaihtaa pakkauskokoja. Ohjelman käyttö edellytti kuitenkin jonkin verran opettelua. Haastavinta piirilevyn suunnittelussa oli manuaalinen reitittäminen ja joidenkin kytkentä- ja layout-puolen virheenkorjauksen antamien virheiden ymmärtäminen.

Piirilevyn saattamiseksi myyntituotteeksi olisi sille pitänyt tehdä enemmän testauksia. Aikataulun takia piirilevyä ei testattu. Asiakaskin halusi vielä koekytkentöjä rasiustestejä varten. Laitteen ohjelmoinnista vastasi eri henkilö, joten myös ohjelmistopuolen toimivuus pitäisi testata ennen lopputuotteeksi saattamista. Asiakas voi haluta vielä muuttaa komponentteja tai laitteen kokoa. Koska laite on suunniteltu siten, että komponentit ovat vain yhdellä puolella, sitä voidaan vielä pienentää tarvittaessa. Asiakas on esimerkiksi pohtinut LCD-näytön vaihtamista 7-segmenttinäyttöön, koska se on edullisempi ja näyttöä käytetään vain ohjelmoinnin apuna. Laitteeseen voidaan vielä suunnitteluvaiheessa lisätä uusia toimintoja tarpeen mukaan.

LÄHTEET

Puutarha. Lisävaloa taimille kasvilampuista. Luettu 23.3.2015.

<http://www.nicehouse.fi/puutarha/ajankohtaista/lisavalo.htm>

Gardener's supply company. Gardening Under Lights. 2015. Luettu 23.3.2015.

<http://www.gardeners.com/how-to/gardening-under-lights/5080.html>

Jämsä, L. Eagle-piirilevysuunnitteluohjelmiston esittely. 28.7.2010. Ruuvipenkki.fi. Luettu 9.3.2015.

<http://www.ruuvipenkki.fi/2010/07/28/eagle-piirisuunnitteluohjelmiston-esittely>

Cadsoft. About Eagle PCB Design Software. 2011. Luettu 1.5.2015.

<http://www.cadsoftusa.com/eagle-pcb-design-software/about-eagle/>

element14 Community. EAGLE CAD Libraries. 2015. Luettu 19.4.2015.

http://www.element14.com/community/community/cadsoft_eagle/eagle_cad_libraries

Smith, N. Opas laadukkaaseen PCB-suunnitteluun. 16.7.2014. Elektroniikka lehti. Luettu 9.3.2015.

http://www.etn.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=1577%3Aopas-laadukkaasen-pcb-suunnitteluun&catid=26&Itemid=14

Rupponen, T. 2003. Pintaliitoskomponenttien kytkentöjä. 1. painos. Porvoo: WSOY.

Mekanex. Tasavirtamoottorit. Luettu 19.4.2015.

<http://www.mekanex.se/produkter/motor/fi-likstromsmotorer.shtml>

Ronkka, T. Sulautettu järjestelmä on:. 2013. Pajakurssi. Luettu 24.3.2015.

https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/elec-a4010/luennot/ELEC-A4010_piirilevyn_suunnittelu.pdf

Gammon, N. 2011. Gammon Forum. Luettu 24.3.2015.

<http://www.gammon.com.au/forum/?id=11109>

Watkins, S. AVR ISP Programming via Arduino. 15.7.2009. Hackaday. Luettu 25.3.2015.

<http://hackaday.com/2009/07/15/avr-isp-programming-via-arduino/>

Kanda.com. Guide to KANDA AVR ISP Circuits. Luettu 29.3.2015.

<http://www.kanda.com/avr-isp-circuits.html>

The Technical Brain. 16x2 LCD control with ATmega32. Luettu 25.3.2015.

http://thetechnicalbrain.com/electronics/elec_lcd.php

Midas Components Ltd. Specification MC21605B6WK-SPTLY. Luettu 25.3.2015.

<http://www.farnell.com/datasheets/1485408.pdf>

Banggood Ltd. KY-040 Rotary Decoder Encoder Module For Arduino AVR PIC. 2015.

Luettu 25.3.2015. <http://www.banggood.com/KY-040-Rotary-Decoder-Encoder-Module-For-Arduino-AVR-PIC-p-914010.html>

Hirzel, T. PWM. 2015. Arduino. Luettu 25.3.2015. <http://arduino.cc/en/Tutorial/PWM>

Prinel Piirilevy Oy. Suunnitteluohjeet. 2015. Luettu 17.3.2015.
<http://www.prinel.fi/suunnitteluohjeet-1>

Sparkfun. Using Eagle: Boar Layout. Luettu 27.3.2015.
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/using-eagle-board-layout/checking-for-errors>

Ryan, V. Manufacture of Printed Circuit Boards CNC Machines. 2009. Luettu 26.3.2015. <http://www.technologystudent.com/pcb/pcbnc.htm>

Amazon.co.uk. Black IC SMD Pick Up Vacuum Sucking Pen Hand Tool w 4 Suction Headers. 2015. Luettu 30.3.2015. <http://www.amazon.co.uk/Black-Vacuum-Sucking-Suction-Headers/dp/B00AOB0LAY>

Direct Industry. Desoldering pump. 2015. Luettu 30.3.2015.
<http://www.directindustry.com/prod/sam-outillage/desoldering-pump-13123-878399.html>

Tukes. RoHS - Vaarallisten aineiden käytön rajoittaminen. 14.10.2014. Luettu 19.4.2015.
<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/RoHS---Vaarallisten-aineiden-kayton-rajoittaminen/>

LIITTEET

Liite 1. Komponenttien hintavertailu

	Vastukset	Kpl	Elfa	Kpl Hinta	Farnell	Kpl Hinta	Varastotilanne
	10k	3	https://www.elfae.com	0,0255	http://fi.farnell.com	0,005	On
	Kondensaattorit						
	0,1uF	8	https://www.elfae.com	0,19	http://fi.farnell.com	0,138	On
	10uF	1	https://www.elfae.com	0,07	http://fi.farnell.com	0,39	Elfan ei
	18pF	2	https://www.elfae.com	0,0338	http://fi.farnell.com	0,004	On
	5V jännitereg.	1	https://www.elfae.com	0,69	http://fi.farnell.com	0,77	On
	ATmega328	1	Ei löydy		http://fi.farnell.com	2,58	On
	AVRISP	1	https://www.elfae.com	0,63	http://fi.farnell.com	0,27	On
	Näyttö taustaval.	1	https://www.elfae.com	41,7	http://fi.farnell.com	9,8	On
	16x2 nestekidenäyt.	1	https://www.elfae.com	39,2	http://fi.farnell.com	8	Elfan ei
	Oskillaattori	1	https://www.elfae.com	7,19	http://fi.farnell.com	2,9	Elfan ei
	16MHz kide	1	https://www.elfae.com	0,314	http://fi.farnell.com	0,162	On
	Reset-nappi	1	https://www.elfae.com	1,29	http://fi.farnell.com	0,58	On
	10k Trimmeri	1	https://www.elfae.com	2,2			
	H-sillan piiri	1	http://nvhs.files.w				
	L9110S	1	http://www.banggg	1,5			
	Rotary encoder	1					
	KY-040	1					

Liite 2. Piirilevyn kytkentä

