

Janne Polvela

PTH-PIIRILEVYN UUDELLEEN SUUNNITTELU JA VALMISTUS SMD-
TEKNIIKALLA

Insinööriyö

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Tekniikan ja liikenteen ala

Elektroniikan tuotantotekniikan

koulutusohjelma

Kevät 2004

Osasto TEKNIikka	Koulutusohjelma KONE- JA TUOTANTOTEKNIikka
Tekijä(t) Janne Polvela	
Työn nimi PTH-piirilevyn uudelleen suunnittelu ja valmistus SMD-tekniikalla	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Elektroniikan tuotantotekniikka	Ohjaaja(t) Heikki Savolainen
Aika Kevät 2004	Sivumäärä 63+5
<p>Tiivistelmä</p> <p>Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella laitteelle pintaliitostekniikalla toteutettu piirilevy, valmistaa pintaliitoskomponentteja käyttäen prototyyppi sekä suunnitella ja valmistaa sille muovikotelo. Lähtökohtana oli perinteisellä tekniikalla, eli läpiladottavilla komponenteilla toteutettu laitteen prototyyppi sekä siihen liittyvä komponentti- ja kytkentäkaavio.</p> <p>Alkujaan työhön rajattiin muutamia seikkoja, joiden mukaan suunnittelu toteutettiin. Piirilevylle annettiin suurin piirtein maksimikoko 120x75 mm, jota ei mielellään saisi ylittää. Lisäksi suunnittelussa ja valmistuksessa tulisi käyttää sellaisia toleranssiraajoja ja menetelmiä, jotta prototyypin valmistus voitaisiin toteuttaa koulun tuotantotekniikan laboratoriovälineillä. Prototyypin muovisen laitekotelon valmistuksessa käytettäisiin NUMO NC-jyrsintä. Piirilevysuunnittelulla päästiin pienentämään piirilevyn 100x75 mm:n kokoon. Piirilevy valmistettiin kaksipuolisena, jossa komponentit sijaitsivat samalla puolella ja osa signaalien johdotuksesta vietiin piirilevyn toisella puolella. Pintaliitoskomponentteja käyttämällä piirilevyn yleisilme saatiin siistittyä ja samalla sen painoa kevennettyä.</p>	
Luottamuksellinen Ei X	
Hakusanat: Pintaliitostekniikka, piirilevyn suunnittelu, PowerPCB, prototyypin valmistus	
Säilytyspaikka: Kajaanin ammattikorkeakoulu	

Faculty FACULTY OF ENGINEERING	Degree programme MECHANICAL AND PRODUCTION ENGINEERING
Author(s) Janne Polvela	
Title Designing a Pin-Through-Hole Printed Circuit Board by using Surface Mount Technology	
Optional professional studies Electronics Production Engineering	Instructor(s) / Supervisor(s) Heikki Savolainen
Date Spring 2004	Total number of pages 63+5
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final year project was to design printed circuit board documents by using the surface mount assembly for an air pressure measuring device. The starting point of the project was an air pressure measuring device manufactured by using pin-in-hole assembly and its documents.</p> <p>The printed circuit board design was made by using the PowerLOGIC 5.0 and PowerPCB design programs. The goal was to minimize the size of the printed circuit board.</p> <p>The final phase of the project was to build an air pressure measuring device prototype and also to design and build a plastic case for the prototype. The criteria for this circuit board were to use technology so that production is possible on the production line of Kajaani polytechnic.</p>	
Confidential Yes No <input checked="" type="checkbox"/>	
Keywords Surface Mount Technology, PowerPCB, Printed Circuit Board, Pin-Through-Hole Assembly, Surface Mounted Device	
Deposited at Kajaani Polytechnic	

1	JOHDANTO	1
2	PINTALIITOSTEKNIIKAN TAUSTAA	3
2.1	Yleistä	3
2.2	Pintaliitostekniikan etuja ja haittoja	5
2.3	Pintaliitostekniikan vaikutus piirilevysuunnitteluun	6
3	PIIRILEVY	7
3.1	Piirilevyn materiaali	7
3.2	Kerrostien lukumäärä	10
3.3	Piirilevyn suunnittelu	11
4	KOMPONENTIT	13
4.1	Standardit	13
4.2	Kotelot	14
5	JUOTOSPASTA	19
5.1	Lyijyllinen pasta	20
5.2	Lyijytön pasta	21
6	LADONTA	22
7	JUOTOSMENETELMÄT	23
7.1	Aaltojuotto	24
7.2	Reflow-juotto	28
8	LAITEKOTELOT	32
9	LAITTEEN TOIMINTA	34
10	KOMPONENTTIEN VALINTA	35
11	PIIRILEVYSUUNNITTELU	38
11.1	Ohjelma	38
11.2	Komponenttien sijoitus	38
11.3	Johdinleveydet ja eristevälit	39
11.4	Valmistukseen huomioitava	41

12	PROTOTYYPIN VALMISTUS	42
12.1	Piirilevyn syövytys	42
12.2	Pastaus	45
12.3	Ladonta	46
12.4	Juottaminen	46
12.5	Kotelon suunnittelu	50
12.6	Kotelon valmistus	50
13	TULOSTEN TARKASTELU	52
14	KEHITYSKOhteita	53
15	YHTEENVETO	54
	LÄHDELUETTELO	55
	LIITTEET	57

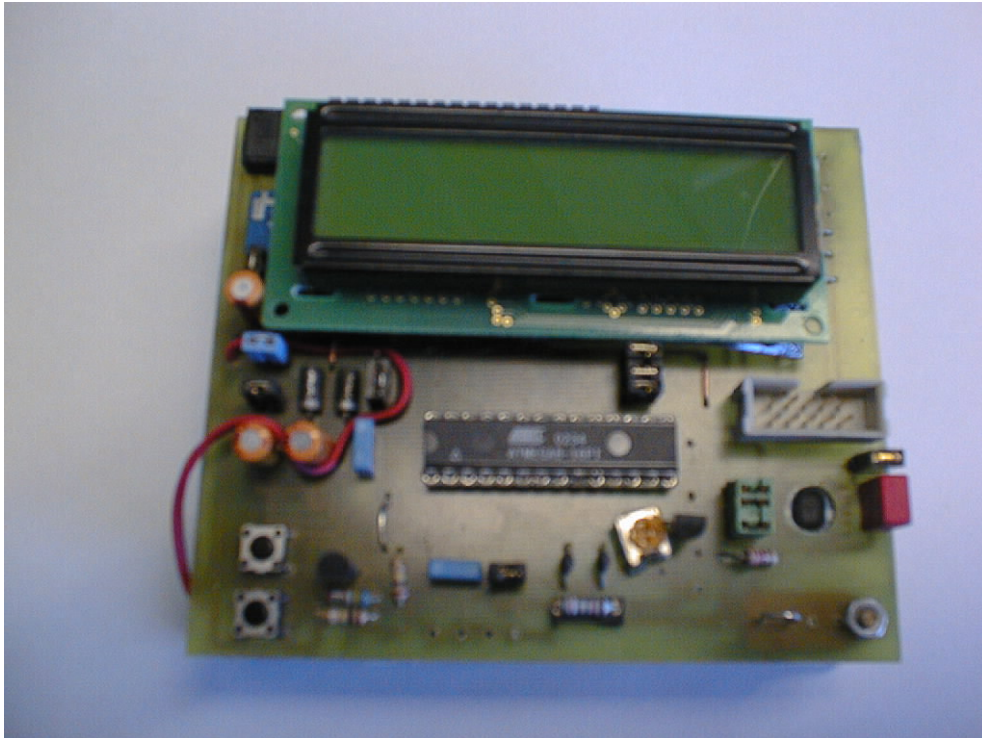
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

3D -rakenne	Piisiruja ladottu päällekkäin
BGA	Ball Grid Array
CSP	Chip Scale Package
ESD	Electrostatic Discharge
Eutektinen	Juotteessa metallin seossuhde, jossa muutos kiinteästä olomuodosta sulaksi tapahtuu samassa lämpötilassa
FR	Flammability Rating
IC	Integrated Circuit
LED	Light Emitting Diode
MELF	Metal Electrode Face
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
PCB	Printed Circuit Board
PTH	Pin Through Hole
QFP	Quad Flat Pack
SIP	System In Package
SMD	Surface Mounted Device
SO	Small Outline
SOC	System On a Chip

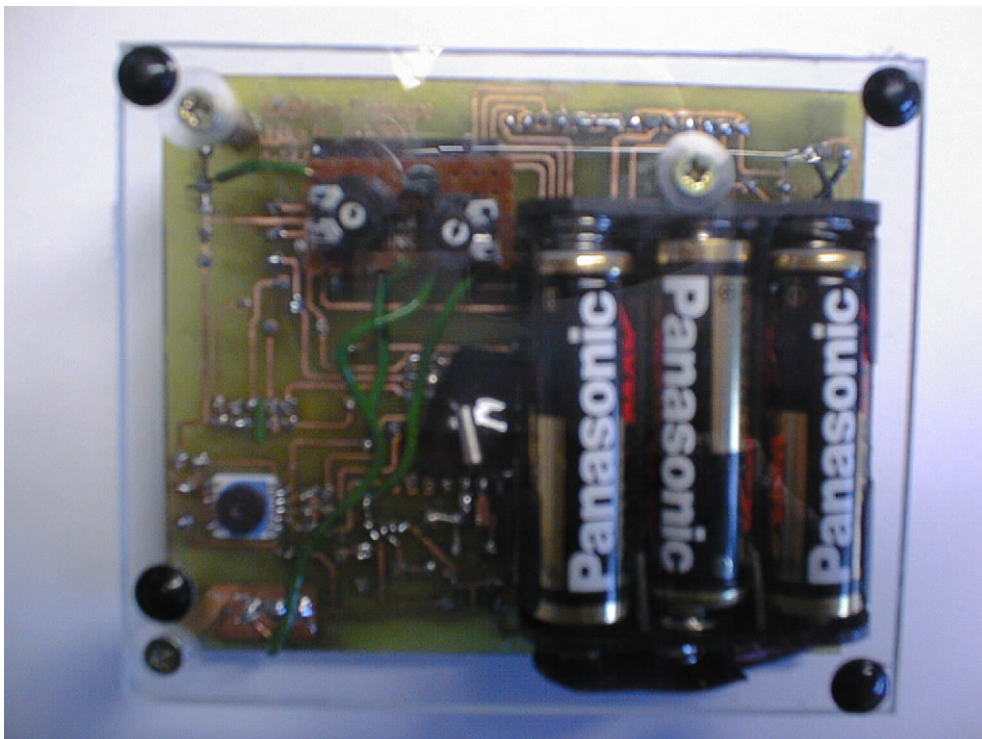
1 JOHDANTO

Elektroniikkakomponenttien rakenne on muuttunut viime vuosina paljon, koska komponentit valmistetaan teolliseen tuotantoon sopiviksi. Erilaista elektroniikkaa sisältäviä laitteita tarvitaan koko ajan lisää, sekä uusiin käyttötarkoituksiin. Tuotantoa pyritään jatkuvasti tehostamaan ja laitteiden käyttöominaisuuksille asetetut tavoitteet ja vaatimukset kasvavat jatkuvasti. Perinteisillä komponenteilla valmistetut laitteet ovat liian suuria ja kömpelöitä käyttää. Uusien komponenttien tulee olla entistä pienempiä ja yhä edullisempia ja nopeampia valmistaa. [1.]

Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella laitteelle (kuvat 1-2) pintaliitostekniikalla toteutettu piirilevy, valmistaa pintaliitoskomponentteja käyttäen prototyyppi sekä suunnitella ja valmistaa sille muovikotelo. Lähtökohtana oli perinteisellä tekniikalla, eli läpiladottavilla komponenteilla toteutettu laitteen prototyyppi sekä siihen liittyvä komponentti- ja kytkentäkaavio (liite A). Alkujaan työhön rajattiin muutamia seikkoja joiden mukaan suunnittelu toteutettiin. Piirilevylle annettiin suurin piirtein maksimi koko 120x75 mm, jota ei mielellään saisi ylittää. Sekä suunnittelussa ja valmistuksessa tulisi käyttää sellaisia toleranssirajoja ja menetelmiä, jotta prototyypin valmistus voitaisiin toteuttaa koulun tuotantotekniikan laboratoriovälineillä. Prototyypin muovinen laitekotelon valmistuksessa käytettäisiin NUMO NC-jyrsintä.



Kuva 1. Ilmanpainemittarin komponenttipuoli.



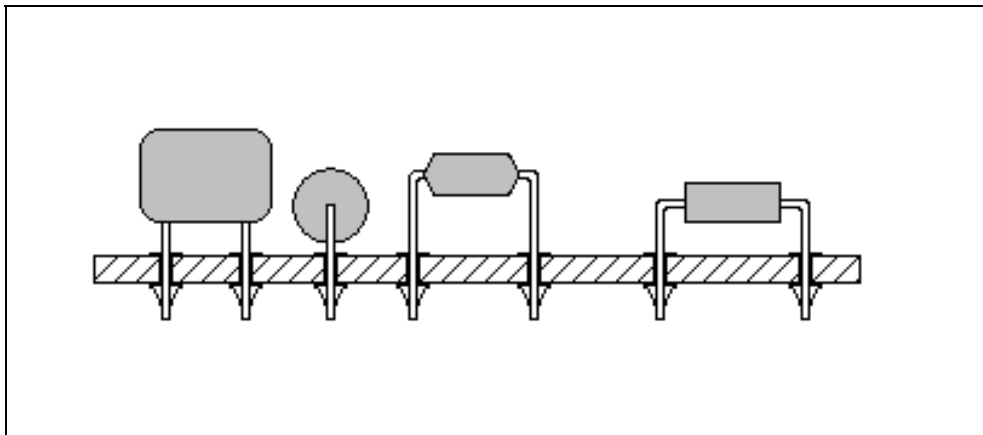
Kuva 2. Ilmanpainemittarin juotospuoli

2 PINTALIITOSTEKNIIKAN TAUSTAA

Elektronisten kytkentöjen monimutkaistuminen ja toimintojen lisääntyminen on pakottanut etsimään ratkaisuja, joiden avulla laitteiden koko saataisiin pysymään kurissa. Lisäksi laitteita tulisi pystyä valmistamaan pienin kustannuksin. Perinteisten läpiladottavien komponenttien tilalle ovat tulleet pintaliitoskomponentit.

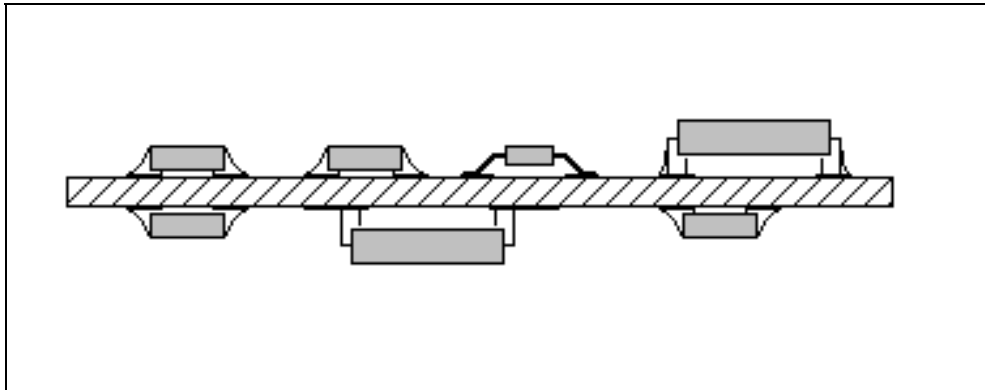
2.1 Yleistä

Komponenttien kotelotyypit voidaan jakaa reikä- ja pintaliitosasennettaviin tyypeihin. Läpiladottavien (PTH, Pin Through Hole) komponenttien kotelo jää piirilevyn eri puolelle kuin liitosjalkojen juotospinnat (kuva 3). Näin ollen piirilevyn joudutaan toteuttamaan yksipuoleisena ja tästä johtuen sen koko voi kasvaa suureksikin.



Kuva 3. Läpiladottavat komponentit

Pintaliitoskomponentteja (SMD, Surface Mounted Device) käytettäessä kotelo ja liitospinnat tulevat piirilevyn samalle puolelle (kuva 4). Myös molemmin puolin tapahtuva kalustaminen on mahdollista. Pintaliitoskomponenttien pieni koko ja liitinjalkojen puuttuminen edesauttaa piirilevyn pienentämisen ja näin ollen nopeuttaa laitteistojen valmistusta teollisuudessa ja säästää kustannuksissa.



Kuva 4. Pintaliitosasennettavat komponentit

Tulevaisuus

Pintaliitoskomponentit ovat ajankohtainen ja kuuma aihe elektroniikkateollisuudessa. Tämän hetken matkapuhelimet, multimedia- ja verkkotietokoneet edustavat vain jäävuoren huippua tulevaisuuden tuotteista. Elektroniikkateollisuudessa on tapahtumassa suuria muutoksia teknologisten tavoitteiden siirtyessä kannettaviin ja langattomiin järjestelmiin sekä verkottumiseen [2].

Tulevaisuudessa on yhtä tärkeämmällä sijalla ympäristöystävälliset materiaalit. Tuotteet pitää valmistaa sellaisista materiaaleista, että ne voi hävittää turvallisesti tai niitä pitää pystyä kierrättämään. Vuonna 2006 voimaan astuva lyijyn käyttökielto juotospastassa vaikuttaa jo komponenttien kotelomateriaalien valintoihin. Prosessissa käytettävien nesteiden pitää olla luonnossa hajoavia ja vaarallisten synteettisten aineiden käyttö on vähitellen lopetettava. Myös pakkausmateriaaleihin on kiinnitettävä entistä enemmän huomiota. [3.]

Tulevaisuudessa tuotteet halutaan miniatyrisoida, tehdä keveiksi, pieniksi, modulaarisiksi ja halvoiksi, mutta samalla vaatimuksina ovat myös suuri nopeus, tehokkuus, luotettavuus ja käyttäjäystävällisyys [2]. Tämän hetken komponenttien käyttöaste jakautuu seuraavasti:

- PTH 19 %
- SMD 66 %
- BGA ja CSP 3 %
- Koteloimattomat puolijohdeet (flip-chip) 12 %

Seuraavien 14 vuoden aikana tulee kapasiteetti satakertaistumaan ja teho viisikymmen kertaistumaan pinta-alaa kohti. Tätä muutosta ei voida toteuttaa enää käyttämällä erillisiä passiivisia komponentteja ja koteloituja puolijohdekomponentteja sekä perinteisiä piirilevy- ja pintaliitostekniikoita. Päämäärään pyritään mm. komponenttien ja liitosalustojen integroimisella. Alustan sisäkerrokseen valmistetut passiivikomponentit eivät vie tilaa pinnalta, jolloin nystykomponentit voidaan liittää hyvin lähelle toisiaan ja pakkaustehokkuus nousee merkittävästi. Tämä vähentää painoa, minimoi kokoonpanoa ja säästää liitosalustan tilaa. [2.]

Huipputuotteissa on jo nyt käytössä puolijohdeiden kokoisia mikropakkauksia (CSP, Chip Scale Package) ja koteloimattomia puolijohdesiruja (flip-chip-komponentit) sekä mikroläpivientejä sisältäviä liitosalustoja. Lähivuosina pintaliitostekniikka on yhä edelleenkin merkittävin elektroniikan kokoonpanotekniikka. Erityyppiset tiheämmät pintaliitoskomponentit, kuten BGA, CSP, paljaat puolijohdesirut, SIP, SOC ja 3D-rakenteet tulevat lisääntymään voimakkaasti. [2.]

2.2 Pintaliitostekniikan etuja ja haittoja

Siirtyminen pintaliitostekniikkaan tuo monien hyötyjen lisäksi myös haittoja. Esimerkiksi mikrotietokoneiden emolevyyn liitettävien lisäkorttien kiinnityksessä joudutaan käyttämään läpiviennillä toteutettuja kantoja, koska pintaliitostekniikalla kiinnitettyjen komponenttien liitoksiin ei saada tarvittavaa rasiituksen kestoa. Vaikkakin pintaliitostekniikka tuo laitteeseen jossain määrin tärinän ja

iskunkestävyyttä. Myös komponentin mahdollinen helppo vaihtaminen vaatii joissain tapauksissa läpivientiä, kuten mikrotietokoneiden prosessori.

Pintaliitostekniikalla toteutetuissa laitteissa voidaan saavuttaa seuraavia etuja:

- Komponenttien koteloa voidaan pienentää ja keventää.
- Piirilevyn kerroksia voidaan kasvattaa.
- Padien pienempi välimatka piirilevyllä pienentää johtimien pituuksia ja vähentää loisimpedanssia.
- Pienempi koko vähentää herkkyttä elektromagneettiselle häiriölle.
- Varastointikustannukset pienenevät.
- Iskun ja tärinän sieto paranee. [4.]

Pintaliitostekniikka saattaa aiheuttaa seuraavia haittoja:

- Lisääntynyt muuttujien määrä vaati suunnittelulta paljon.
- Pienemmät viivanleveydet saattavat lisätä kohinaa ja ylikuumenemista.
- Lämmön pois vienti on tärkeää.
- Virtatiheydet kasvavat.
- Häiriöherkkyys kasvaa.
- Vaatii tarkemmat ja kalliit valmistusmenetelmät. [4.]

2.3 Pintaliitostekniikan vaikutus piirilevysuunnitteluun

Entistä suuremmilla taajuuksilla toimivat ja entistä integroiduimmat komponentit lisäävät piirilevysten suunnitteluun tarvittavaa aikaa. Piirilevysten suunnittelun osa-alueista piirikaavion suunnittelu on haastavaa, mutta kriittisintä on usein piirilevysuunnittelun eli layoutsuunnittelun onnistuminen. Suunnittelijan on hallittava siirtolinjailmiöt ja EMC eli sähkömagneettiset häiriöt. Hänen on tunnettava piirilevymateriaalit, signaalien sekä jännite- ja maatasojen kerrostaminen, liittimet, kaapelit, läpiviennit ja johtimien minimi- ja maksimimitat. [1.]

3 PIIRILEVY

Piirilevy on teollisesti valmistettu kytkentäalusta, jonka avulla halutut komponentit saadaan liitettyä mekaanisesti ja sähköisesti toisiinsa. Painettu piirilevy (PCB, Printed Circuit Board) on perusta, mihin nykyaikaiset elektroniset piirit rakennetaan. Se antaa mekaanisen tuen komponenteille, pisteestä pisteeseen-piiriliitännät ja sähköisen eristyksen pisteiden välille, joita ei tulla yhdistämään. Lisäksi se voi antaa myös sähkömagneettista suojausta ja keinon lämmön leviämiseen ja poistamiseen. [5.]

3.1 Piirilevyn materiaali

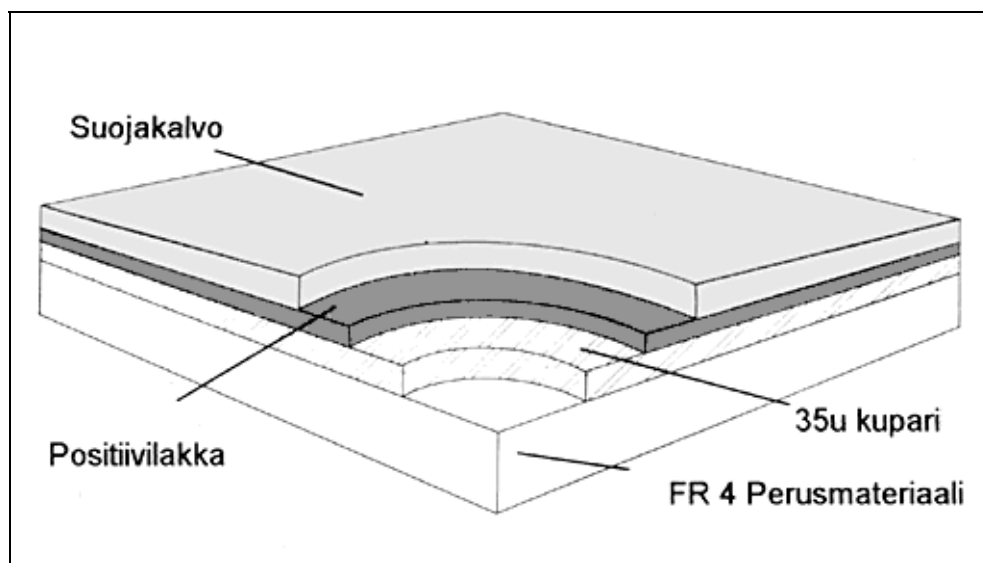
Piirilevyt ovat yleensä komposiitteja, toisin sanoin koostuvat kahdesta tai useammasta fysikaalisesti tai kemiallisesti erilaisesta, sopivasta jakautuneesta faasista. Piirilevyn pintaan on myös valmistettu johdotuskuvio, joka on useimmiten kuparia. Komposiitin ominaisuudet poikkeavat sen komponenttien ominaisuuksista. Yleensä piirilevyt ovat kuitukankaalla lujitettuja laminaatteja. Nykyisin käytössä olevat laminaatit ovat standardoitu NEMA grade mukaisesti (National Electrical Manufacturers Association). Seuraavassa taulukossa on esitetty muutamia tavanomaisia laminaattityyppejä (taulukko 1).

Taulukko 1. Laminaattityypit ja niiden vaatimukset [5.]

NEMA luokka	Hartsityyppi	Lujitetyyppi	Väri	Kuvaus
xxxP	fenoli	paperi	ruskea	Fenolipaperi, meistettävä huoneenlämpötilassa
xxxPC	fenoli	paperi	ruskea	Fenolipaperi, meistettävä huoneenlämpötilassa
FR-2	fenoli	paperi	ruskea	Fenolipaperi, hyvä kosteudensieto, soveltuu yksipuolisen kulutuselektroniikan piirilevyihin
FR-3	epoksi	paperi	vaalean vihreä	Epoksi muovi, paperi perusta liekinkestävällä muovisysteemillä, kylmämeistettävyys ja korkea eristysvastus
FR-4	epoksi	lasimatto	läpikuultavan vihreä	Epoksilasi, erinomaiset mekaaniset ja sähköiset ominaisuudet, soveltuu monikerroslevyihin
FR-5	epoksi	lasimatto	läpikuultavan vihreä	Kestävä korkealämpötila-epoksilasi liekinkestävällä hartsisysteemillä
FR-6	polyesteri	lasimatto	vaalea	Polyesteri, satunnainen lasikuitu, liekinkestävä, suunniteltu heikko kapasitiivisille tai korkeaiskuisille sovelluksille
G-10	epoksi	lasimatto	läpikuultavan vihreä	Epoksilasi, yleiseen käyttöön, suuri eristysvastus, hyvä lujuus, hyvä kosteuden sieto
G-11	epoksi	lasimatto	läpikuultavan vihreä	Kestävä korkealämpötila-epoksilasi, sietää liuottimia
GT	teflon	lasimatto	ruskea	Hyvä dielektrisyys ominaisuudet
GX	teflon	lasimatto	ruskea	Hyvä dielektrisyys ominaisuudet ja pienet toleranssit

Piirilevymateriaalin valinnassa on otettava huomioon lasittumislämpötila (TG - lämpötila), fyysiset ominaisuudet ja työstöominaisuudet. On huomioitava myös

materiaalin ominaisuudet kosteuden imemisen suhteen sekä materiaalin ominaisuuksien muuttuminen korkeissa lämpötiloissa. Usein tärkeää on myös tuntea sähköiset parametrit kuten resistiivisyys ja käytettävien materiaalien dielektrisyys. Pienetkin muutokset voivat vaikuttaa haitallisesti herkkien analogipiirien toimintaan. Piirilevymateriaaleja on useita. Useimmiten piirilevymateriaalit luokitellaan tulenarkuuden mukaan FR-1 – FR-5 – luokkiin (Flammability Rating), joista FR-1 on arin tulelle. Joskus käytetään niin sanottuja G-luokan materiaaleja. Yleisimmät piirilevymateriaalit ovat FR-2 ja FR-4 (kuva 5).



Kuva 5. FR-4 piirilevyn rakenne [6.]

Materiaalista saadaan helposti korkealaatuisia yksi- ja kaksipuolisia piirilevyjä pieniin sarjoihin ja protokäyttöön. Ykköslaatuinen FR4 materiaali on päällystetty yksi- tai kaksipuolisesti ohuella märkäresistillä, jolla saadaan ohut ja kova kalvo. Hyvällä filmillä päästään helposti 0,1 mm johdinleveyksiin. Resistikalvo on suojattu valolta ja mekaaniselta vahingoittumiselta mustalla kontaktimuovilla, joka irrotetaan ennen valotusta. Suojamuovi mahdollistaa piirilevyn leikkaamisen leikkurilla, sahaamisen tai jyrsimisen. [6.]

FR-1:tä ei suositella käytettäväksi, jos erityistä syytä ei ole, kannattaa käyttää yleisimpiä materiaaleja. Joskus piirilevyn merkittäviä tehtäviä on jäähdyttää elektroniikan aiheuttamaa lämpöä. Tällöin suuret kuparialueet toimivat tehok-

kaana jäähdytyselementtinä, sillä kupari on hyvä lämmönjohde. Jäähdytyksen parantamiseksi kuparoinnin paksuutta voidaan halutessa kasvattaa. Yleisimmät kuparointipaksuudet ovat noin 17.5, 35 ja 70 mikronia. [1.]

3.2 Kerrosten lukumäärä

Piirilevyjä on erityyppisiä niiden käyttötarpeiden mukaan. Yksipuoleisessa piirilevyssä johdotuskerros on muodostettu nimensä mukaisesti yhdelle puolelle piirilevyä. Erittäin yksinkertaiset kulutuselektroniikkapiirit valmistetaan yleensä yksipuoleiselle piirilevyille ja halvasta materiaalista, kuten FR1 ja FR2. Näillä korteilla käytetään usein hyppylankoja reitittämään osan signaaleista. Yksipuolisia piirilevyjä suositellaan ainoastaan pienillä taajuuksilla toimiville piireille, sillä tällä tekniikalla toteutettu laite on erittäin herkkä häiriösäteilylle [1.].

Kaksipuolinen piirilevy on rakenteeltaan seuraavaksi yksinkertaisin. Kaksipuolisessa piirilevyssä joudutaan käyttämään läpikuparointia, jolla saadaan eri johdotuskerrosten välille liityntä. Kaksikerroksisessa piirilevyssä johdotuskuviointi muodostetaan kummallekin puolelle. Ylimääräisen kerroksen lisääminen sallii komponenttitiheyden kasvamisen ilman kupariliitosten kaventamista. Kaksipuolisuus tarjoaa mahdollisuuden reitittää signaaleja ristiin piirilevyn eri puolilla. Tämä ei kuitenkaan esimerkiksi analogiapiirien osalta ole suositeltavaa. Jos mahdollista, tulisi toinen puoli piirilevystä pyhittää maatasoksi. Piirillä on eniten kytkentöjä maahan, joten maatason käyttö helpottaa signaalien reititystä. Se tekee lisäksi kortista mekaanisesti vahvemman, vähentää impedanssia maahan, lisää signaalien ja maan välistä kapasitanssia ja pienentää siten mahdollista säteilyä ja toimii suojana muista piireistä tulevaa säteilyä vastaan. [1,5.]

Monikerroksisissa piirilevyissä eri kerrokset prosessoidaan erikseen useimmiten ohuista lasikuitulevyistä. Sisäkerrosten johdotus yleensä oksidoidaan paremman tarttumisen aikaansaamiseksi. Ulkokerrokset valmistetaan kuten kaksipuolisessa levyssä. Monikerroksisella rakenteella saadaan kasvatetuksi komponenttien tiheyttä. Monikerroslevyt ovat paras valinta nopeita elektroniikkapiirejä varten. Ylimääräiset kerrokset helpottavat reititystä. Monikerroslevyillä

sekä käyttöjännite että maa voivat olla erillisinä tasoina ja kytkentä niihin hoidetaan ainoastaan läpivientien eli viojen kautta. Tasojen välille muodostuu lisäksi kapasitanssia, mikä vähentää säteilyä. Monikerroslevyt ovat kalliimpia kuin yksi- ja kaksipuoliset piirilevyt. [1,5.]

3.3 Piirilevyn suunnittelu

Piirilevyn suunnittelu on entistä vaikeampaa, sillä nykyinen pakkaustekniikka edellyttää yleensä monimutkaisten kerros- ja läpivientirakenteiden käyttöä. Samaan aikaan kytkentänopeudet ovat kasvaneet. Piirilevysuunnittelijan on entistä enemmän osattava ottaa huomioon myös piirilevyn valmistukseen käytettävää prosessia, jotta laitteen valmistuskustannukset ja tuotantotehokkuus pysyvät halutuissa rajoissa.

Piirilevyn heikko layout voi toimia häiriösäteilimenä tai tehdä muuten vakaasta piiristä epävakaa. Periaatteessa jokainen piirilevyn signaali voi toimia haitallisenä antennina. Johtimen pituus ja leveys vaikuttavat sen vastukseen ja induktanssiin, jotka vastaavasti vaikuttavat signaalin taajuusvasteeseen. Vakaa ja toimivan piirilevyn tekemiseen vaikuttavat useat osa-alueet: piirin oikea looginen toiminta, ajoitukset, lämpösuunnittelu, signaalin reititys, teholähde, testattavuus ja asennettavuus. Piirilevyn ominaisuudet tulevat selvimmin esiin nopeilla, suurilla taajuuksilla sisältävillä piireillä sekä analogiapiireillä. Suunnittelijan tehtävän tekee entistä haastavammaksi se, että useimmiten piirilevy on täysin tai ainakin osittain yhdistelmä näistä molemmista. [1.]

Suunniteltavan piirilevyn koon määrittäminen on ensimmäisiä asioita, joiden yhteydessä layoutsuunnittelu voi mennä pieleen. Liian pieneksi arvioitu korttiala johtaa siihen, että käytetään turhaan aikaa suunnitteluun, joka ei koskaan johda toimivaan lopputulokseen. Liian suureksi arvioitu korttiala johtaa puolestaan siihen, että piirilevyn valmistuskustannukset kasvavat ja piirilevyn valmistusaika on pidempi. Tarvittavan piirilevyn pinta-alan arviointi on nykyään vaikeampaa kuin ennen. Aikaisemmin käytettiin läpiladottavia komponentteja, joiden koko oli melko vakio ja piirilevyn koko sitä kautta ennustettavissa. Nyt käytössä on eri-

kokoisia komponentteja ja komponenttikoteloiden nastamäärät ovat kasvaneet suuriksi. [1.]

Periaatteessa piirilevyn minimikoko määräytyy kortille tulevien komponenttien mukaan. Komponentit voidaan sijoittaa piirilevyn molemmille puolille. Käytännössä komponenttien lisäksi kuitenkin vaaditaan tilaa signaaleille ja läpivienneille. Kun mukaan liitetään vielä testauspisteet ja komponenttien laadonta- ja juotosvaatimukset, on lopullinen koko melko kaukana komponenttien perusteella määritellystä minimikoosta. [1.]

4 KOMPONENTIT

Kun piirilevyn mekaaniset mitat on ainakin alustavasti määritelty, voidaan piirilevyn suunnittelu aloittaa komponenttien sijoittelulla. Komponentit tulisi pyrkiä sijoittamaan yhdelle piirilevylle. Jos lisäkorteja on välttämätöntä käyttää, tulisi niille sijoittaa hitaat, epäkriittiset komponentit. Itse komponenttisijoittelu alkaa kriittisten komponenttien sijoittelulla. Joidenkin komponenttien sijainti voi olla jo etukäteen määritelty. Laitteiden suunnittelussa tällaisia ovat usein ledit (Light Emitting Diode), liittimet ja kytkimet. Muita kriittisiä komponentteja ovat sellaiset, jotka aiheuttavat suuria häviöitä, joilla on tiheät nastakuviot tai joiden signaalit ovat herkkiä. [1.]

Komponenttien sijoittelussa on tärkeää ottaa huomioon myös piirin sähköinen toiminta. Toiminnallisesti piiri voidaan jakaa virtasilmuksiin. Virtasilmukat tulisi pitää mahdollisimman pieninä ja erillään toisistaan. Komponentit voidaan sijoittaa myös häiriömielessä siten, että eniten häiriötä aiheuttavat tai vähiten häiriötä sietävät komponentit sijoitellaan samalle puolelle piirilevyä. Tällöin häiriösuojaksi riittää se, että piirilevy suojataan metallikotelolla vain toiselta puolelta. [1.]

4.1 Standardit

Komponenttien kotelotyypit on eri valmistajien kesken standardoitu hyvin. Yleisimmät kotelotyypit ovat yhdysvaltalaisen JEDEC-normiston mukaisia. Esimerkkinä JEDEC:n merkinnöistä ovat TO- ja SOT-alkuiset tunnuksat. Muitakin kotelotyypin merkintätapoja on runsaasti, esimerkiksi saksalainen DIN, englantilainen VASCA, japanilainen EIAJ ja yleismaailmallinen IEC. Standardit sisältävät pääasiassa koteloiden ja jalkojen fyysiset mitat. Lisäksi niissä voidaan

määrittellä komponenttien standardit testiarvot. Elektroniikkatuotannon kannalta edellä mainituista tärkein on kotelon ja jalkojen dimensiot, jotta tuotanto (laidonta) onnistuu eri valmistajien komponenteilla. [3.]

JEDEC-normisto määrittelee seuraavat tekijät, jotka tulisi komponentteja valittaessa ottaa erityisesti huomioon:

a) Fyysiset mitat

- kotelon dimensiot ja toleranssit
- jalkojen dimensiot ja toleranssit
- komponenttien vaatima ala

b) Lämpötilan kesto

c) Standardit testiarvot

- sähköiset
- mekaaniset

d) Fyysiset vaatimukset

- juotettavuus
- pakkausten kestävyys

e) Kemialliset vaatimukset

- liuotin kestävyys

f) Käsittely – ja kuljetuskestävyys

4.2 Kotelot

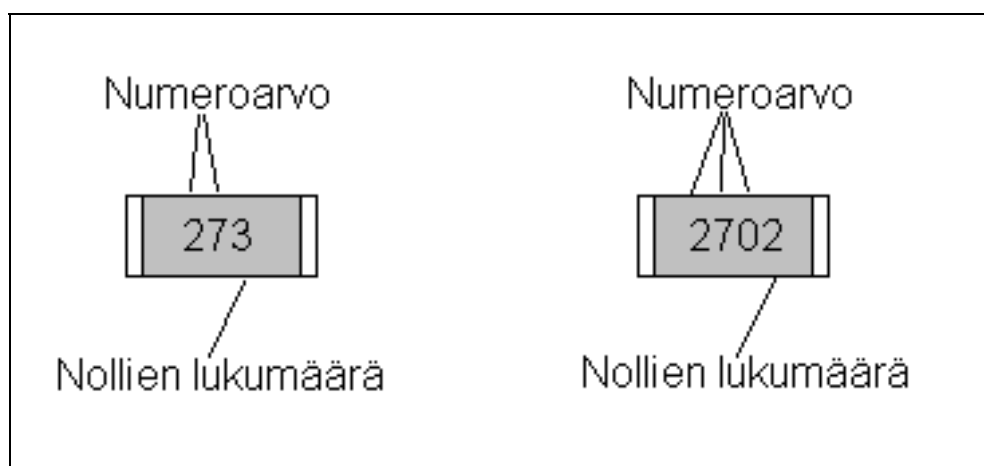
Pintaliitettävien komponenttien rakenne poikkeaa huomattavasti reikiin asennettävien komponenttien rakenteesta muutenkin kuin siten, että kytkentäjohtimet puuttuvat. Passiivikomponentit, esimerkiksi vastukset ja kon-

densaattorit, ovat suorakulmion muotoisia paloja. Pintaliitoskomponentit voidaan koteloidensa perusteella jakaa neljään ryhmään:

- palakomponentit
- MELF (Metal Electrode Face)
- SO-kotelot
- IC-piirit

Palakomponentit

Pintaliitoksiin käytettävä vastus on joko sylinterimäinen tai suorakaiteen muotoinen keraaminen pala, jonka pinnalle on valettu vastusaine. Palan molempiin päihin on kiinnitetty metalliset juotospisteet, joista vastus juotetaan kiinni piirilevyn pinnassa oleviin padeihin. Suorakulmaiset vastukset kehitettiin alun perin niin sanottuihin hybridipiireihin. Hybridipiirit ovat integroitujen piirien edelläkävijöitä. Niissä on joukko komponentteja pienellä piirikortilla, joka on valettu yhdeksi komponentiksi. Sähköteho, jonka vastus kestää, riippuu sen mekaanisesta koosta, joten vastuspalojen kokoja on monia. Vastusarvot ilmaistaan vastuksen pintaan painetulla numerokoodilla (kuva 6). [3,7.]



Kuva 6. Vastusarvon koodin muodostuminen.

Koodi on kolme- tai nelinumeroinen. Kaksi ensimmäistä numeroa ilmaisee vastusarvon numero-osan ja kolmas tai neljäs numero nollien lukumäärän. Pienissä, alle yhden ohmin vastuksissa merkitään kymmenyspilkun paikalle R-kirjain. Tarkkuudeltaan $\pm 1\%$ vastuksissa käytetään myös R-merkintää. Tarkkuudeltaan vastaavissa, kilo-ohmia suuremmissa vastuksissa käytetään kymmenyspilkun ja kolmen noljan symbolina K-kirjainta (kuva 7). [7.]

101	472	333	564
1000	4701	3302	5603
100 ohmia	4.7 kilo-ohmia	33 kilo-ohmia	560 kilo-ohmia
105	335	22R1	R470
1 megaohmi	3.3 megaohmia	22.1 ohmia	0.47 ohmia
7K5	430K	000	0
7.5 kilo-ohmia	430 kilo-ohmia	0 ohmia (ylivientipala)	

Kuva 7. Vastusarvon merkitseminen.

Tehoarvoista riippuvat vastusten komponenttikoot ilmoitetaan tuuman sadasosina. Pienimmillään vastuskoko on "0201" (0.6 x 0.3mm) ja suurimmillaan mitat voivat olla "2512" (6.3 x 3.1mm), jolloin tehoarvot ovat vastaavasti 0.05-1 W (taulukko 2).

Taulukko 2. Vastuskomponentin koon muuttuminen tehoarvon mukaan. [7.]

Koko (tuumina)	Koko (millimetreinä)	Tehonkesto W
0201	0.6 x 0.3	0.05
0402	1.0 x 0.5	0.063
0603	1.5 x 0.8	0.1
0805	2.0 x 1.3	0.125
1206	3.0 x 1.5	0.25
1210	3.0 x 2.5	0.5

2010	5.0 x 2.5	0.75
2512	6.3 x 3.1	1.0

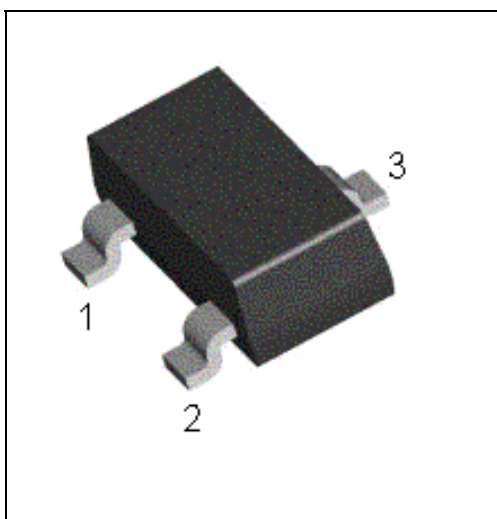
Keraamisten palakondensaattorien kokomerkinnot vastaavat suorakulmaisen vastuksen merkintöjä. Kondensaattorit koostuvat useista ohuista metallilla päällystetyistä keramiikkalevyistä, ja niitä nimitetään tämän vuoksi monikerros-kondensaattoreiksi. Kondensaattorin kapasitanssi riippuu kerrosten lukumäärästä, pinta-alasta ja jännitekestoisuus kerrosten paksuudesta. Tantaalikondensaattori muodostuu hohkaisesta mangaanioksidimassasta, joka on suljettu sähköisesti suojattuun elektrolyyttiin. Tantaalikondensaattori on polarisoitu, sitä ei saa kytkeä jännitteeseen väärinpäin. Kotelo on valettua muovia ja sen liittämispinnat on merkitty selkeästi. [3.]

MELF

Sylinterin muotoisten vastusten ja transistorien nimi on MELF. MELF - vastukset valmistetaan samalla tavoin kuin tavalliset johtimilla varustetut vastuksetkin, mutta johdinten tilalla niissä on vastuksen metalloidut päät. Vastuksissa voidaan käyttää hiili- tai metallikalvoa. MELF – vastuksia on erikokoisia. Yleisimmin käytetyistä vastuksista pienemmän pituus on 2.2 mm ja halkaisija 1.1 mm. Komponentti voidaan juottaa vastuksen 0805 padeihin. Suuremman vastuksen pituus on 3.6 mm ja halkaisija 1.4 mm. Se sopii puolestaan vastuksen 1206 padeihin [7.].

SO–kotelo

SO (Small Outline) tarkoittaa pintaliitoksiin soveltuvia pienikokoisia puolijohde-komponentteja. SOT-transistorin koko vaihtelee muun muassa tehokestoisuuden vuoksi. Pienin transistorikoko on SOT-23, sitä seuraavat SOT-223, SOT-80 ja SOT-83 ja niin edelleen. Transistorin tunnetuin kotelo on SOT-23, (kuva 8) joka on suorakaiteen muotoinen pala. Kanta ja emitterikohtiot ovat samalla sivulla ja kollektori vastakkaisella sivulla.



Kuva 8. SOT-23

IC – piirit

Koko nykyinen elektroniikan rakentaminen pohjautuu mikropiirien (IC, Integrated Circuit) käyttöön. Niissä on saman kotelon sisälle koottu monia toimintoja, jotka ennen vaativat lukuisia erilliskomponentteja. Mikropiirejä on monenlaisia ja erilaisilla koteloilla, niin läpiladottavina kuin pintaliitosasennettavina.

5 JUOTOSPASTA

Homogeeninen ja kineettisesti pysyvä seos juoteseosjauhetta, fluksia ja kuljetinta, jolla voidaan luoda metallisia liitoksia annetuissa juotosolosuhteissa ja joka voidaan ottaa käyttöön automaatiossa muodostamaan luotettavia ja yhdenmukaisia juotoksia. [8.]

Juotospasta sisältää n. 50 % fluksia ja n. 50 % metallia sen tilavuudesta. Juotospastan painosta on n. 10 % fluksia ja n. 90 % metallia. Juotoksen onnistumiseen on fluksilla suuri vaikutus. Juotosprosessin aikana juotospastan tilavuudesta häviää n. 50 % kun fluksi haihtuu. Fluksin tehtävät:

- estää erkautuminen
- sitoa pastakakku
- pitää komponentti paikallaan
- liuottaa oksidit
- suojaa hapelta
- parantaa kostutusta
- siirtää lämpöä
- puhdistaa padit ja metallijauheen [8.]

Pintaliitostekniikka asettaa juotteelle kovempia vaatimuksia kuin aikaisemmat menetelmät. Liitoksiin kohdistuu usein lämpötilan vaihtelusta ja materiaalien erilaisista lämpöpiteneimiskertoimista johtuvaa termistä väsymiskuormitusta, joten juotteiden olisi kestettävä myös tällaista rasitusta. Eutektiset (eutektinen, metallin seossuhde, jossa muutos kiinteästä olomuodosta sulaksi tapahtuu samassa lämpötilassa) Sn-Pb -juotteet eivät nimittäin kestä erityisen hyvin termistä väsymistä. Juotemateriaalin hinta ei ole ratkaiseva materiaalin valinnan kannalta, vaan juotteen suorituskyvyllä on suuri vaikutus. [8.]

5.1 Lyijyllinen pasta

Juoteprosessit ovat kehittyneet huomattavasti viime vuosikymmeninä. Siitä huolimatta juotteiden koostumukset ovat muuttuneet vain vähän. Yleisesti on käytetty eutektista juotekoostumusta 63Sn-37Pb tai lähes eutektista koostumusta 60Sn-40Pb. Näiden juotekoostumusten hyvänä puolena on nopean jähmettymisen lisäksi matala sulamispiste (183 °C) ja hyvä kostutuskyky. Tämä mahdollistaa juottamisen melko alhaisessa lämpötilassa mahdollistaen sen, että komponentit eivät vioitu juottamisen aikana. [8.]

Lyijyvaltaisissa juotteissa on yleensä myös tinaa 10 % pitoisuuteen saakka. Näitä juotteita kutsutaan usein korkean lämpötilan juotteiksi, vaikka ne eivät olekaan lujempia kuin eutektiset seokset 100 °C:ssa. Niiden sulamispiste on kuitenkin noin 300 °C. Korkean lämpötilan juotteita voidaan käyttää esimerkiksi pitämään komponentteja paikallaan silloin, kun varsinainen juottaminen tapahtuu matalamman lämpötilan juotteella. [8.]

Sn-Pb -seoksiin voidaan lisätä vain muutamia sellaisia seosaineita, jotka lujittavat juotetta aiheuttamatta muita haitallisia ilmiöitä. Jotkin seosaineet, esimerkiksi kupari, nostavat sulamispistettä liikaa. Selvänä poikkeuksena on hopea, jota voidaan lisätä juotteeseen muutamia prosentteja lujuuden samalla kasvaessa, mutta alentamatta sitkeyttä liikaa. Lähes eutektisiin Sn-Pb -seoksiin lisätään tavallisesti noin 2 % Ag standardikoostumuksen ollessa 62Sn-36Pb-2Ag. Tämä koostumus on lähellä eutektista pistettä. Lujuuden lisääntyminen mekitsee myös termisen väsymisen kestävyuden paranemista, ja tästä syystä seosta käytetään yleisesti pintaliitostekniikassa. Hopea alentaa myös sulamispisteen 179 °C:een. Koostumusta käytetään myös, kun juotetaan hopealla pinnoitettuja komponentteja, koska hopeapitoinen juote liuottaa vähemmän komponentin metallointia kuin pelkkä Sn-Pb -juote. Syynä on se, että juote on valmiiksi kyllästetty hopealla. Juottaminen on mahdotonta, mikäli komponentin päätymetallointi liukenee kokonaan ennen juottamisen päättymistä. [8.]

5.2 Lyijytön pasta

Siirtyminen lyijyttömiin juotospastoihin suoraan ei onnistu ilman ongelmia. Lyijyttömien juotospastojen korkea sulamislämpötila aiheuttaa komponenttien kestävyysheikkenemistä juotosprosessissa. Sulamislämpötilojensa perusteella lyijyttömät juotospastat voidaan jakaa kahteen luokkaan: matalan lämpötilan (200-227 °C) ja korkean lämpötilan juotteisiin, jotka alkavat sulaa vasta korkeimpien reflow-lämpötilojen (260 °C) yläpuolella. [9.] Seuraavassa taulukossa (taulukko 3) on esitetty muutamien lyijyn korvaavien ainesosien vaikutus juotokseen. [8.]

Taulukko 3. Lyijyn korvaavia metalliseoksia ja niiden vaikutus juotokseen. [8.]

Tina-Sinkki	Hapettumis- ja korroosio-ongelmia
Tina-Indium	Juotoksen luotettavuus huono, hapettumisongelmia
Tina-Vismutti	Vaatii voimakkaan juoksutteen, mekaaninen kestävyys heikohko
Tina-Kupari (eutektinen)	Huono kostuminen (hylkii), josta joh-tuen mekaanisesti epävarma
Tina-Hopea (eutektinen)	Korkeahko sulamislämpötila, ei kuparin suojavaikutusta
Tina-Antimoni	Liian korkea sulamislämpötila, muut ominaisuudet hyvät
Tina-Hopea-Vismutti	Matala sulamislämpötila, mutta ei ole eutektinen
Tina-Hopea-Kupari-Antimoni	Antimoni nostaa sulamispistettä

6 LADONTA

Varsinainen komponenttien ladonta piirilevyllä voi tapahtua käsin tai automaattisesti. Pintaliitoskomponenttien ladonta on huomattavasti helpompaa toteuttaa automaattisesti kuin jalallisten komponenttien, koska pintaliitoskomponentteja ei tarvitse asettaa levyllä oleviin reikiin. Myös käsiladonnassa päästään suurempaan ladontanopeuteen, kun käytetään pintaliitoskomponentteja. Ladonta tapahtuu imuottimen avulla, jolla voidaan erilaisia imukärkiä käyttämällä latoa lähes kaikkia erilaisia pintaliitoskomponentteja.

Nykyisin on tarjolla kymmeniä erilaisia ladontakoneita, nopeista linjakoneista aina monipuolista komponenttivalikoimaa latoviin laitteisiin asti. Nykyaikaisella ladontakoneella esimerkiksi GSM-puhelimen piirilevyn kalustus tapahtuu 20 sekunnissa. Tämän hetken merkittävin trendi komponenttien ladonnassa on joustavuus. Enää ei tehdä suuria määriä tuotteita varastoon, vaan tuotantoa tehdään tilauspohjaisesti. Esimerkiksi Pioneerin tehtailla Belgiassa ajetaan kymmenkuntaa, joskus toistakymmentä tuotetta vuoroa kohti, eli tuotteita vaihdetaan suurin piirtein puolen tunnin välein. [10.]

Ladontakone on mekaaninen laitteisto, joka käytön myötä kuluu ja vaatii näin ollen säätöjä ja kunnossapitoa. Tämä taas on pois tuotantoajasta. Kuitenkin komponenttien monipuolistumisen ja pienenemisen takia tarkkuuden ja nopeuden vaatimukset vain kasvavat. Tähän pyritään vastaamaan kehittyneillä teknisillä ratkaisuilla. Ladontakoneiden suorituskyvyn parantamiseksi niissä otetaan käyttöön myös yhä tehokkaampia ohjauksia ja ohjelmistoja. Kokenäkötekniikka on jo käytössä ladontakoneissa, mutta nyt myös esimerkiksi DSP-servotekniikka sekä erilaiset reaaliaikakäyttöjärjestelmät ja Linux ovat löytäneet tiensä ladontakoneiden ohjaukseen. [10.]

7 JUOTOSMENETELMÄT

Yleisimpiä juotosmenetelmiä tuotannossa ovat aalto-, reflow- ja käsinjuotto, joista aalto- ja reflow-juotto soveltuu hyvin automaattiseen massatuotantoon. Reflow-juottamisen suosio on kasvanut viime vuosina lähes ainoaksi juotosmenetelmäksi SMD-ladontalinjalla. Reflow-juottamisella päästään pienimpiin lämpötilaeroihin piirilevyn eri osien välillä kuin aaltojuottamisella. [3.]

Sopivan juotosmenetelmän valinta on olennaisen tärkeä osa valmistusprosessia, jotta saavutettaisiin hyvä sähköinen kontakti ja estetään oikosulkujen syntyminen. Sen lisäksi, että komponenttien pitää olla kooltaan pieniä ja pinta-liitostekniikkaan sopivan muotoisia, kaikkien komponenttien täytyy kestää juotosprosessin aika-lämpötila vaikutus ja kaikki juotoksen jälkeiset puhdistuskäsittelyt. Joskus aaltojuotokseen tarkoitettujen osien täytyy myös kestää upottamista sulaan juotteeseen. [3.]

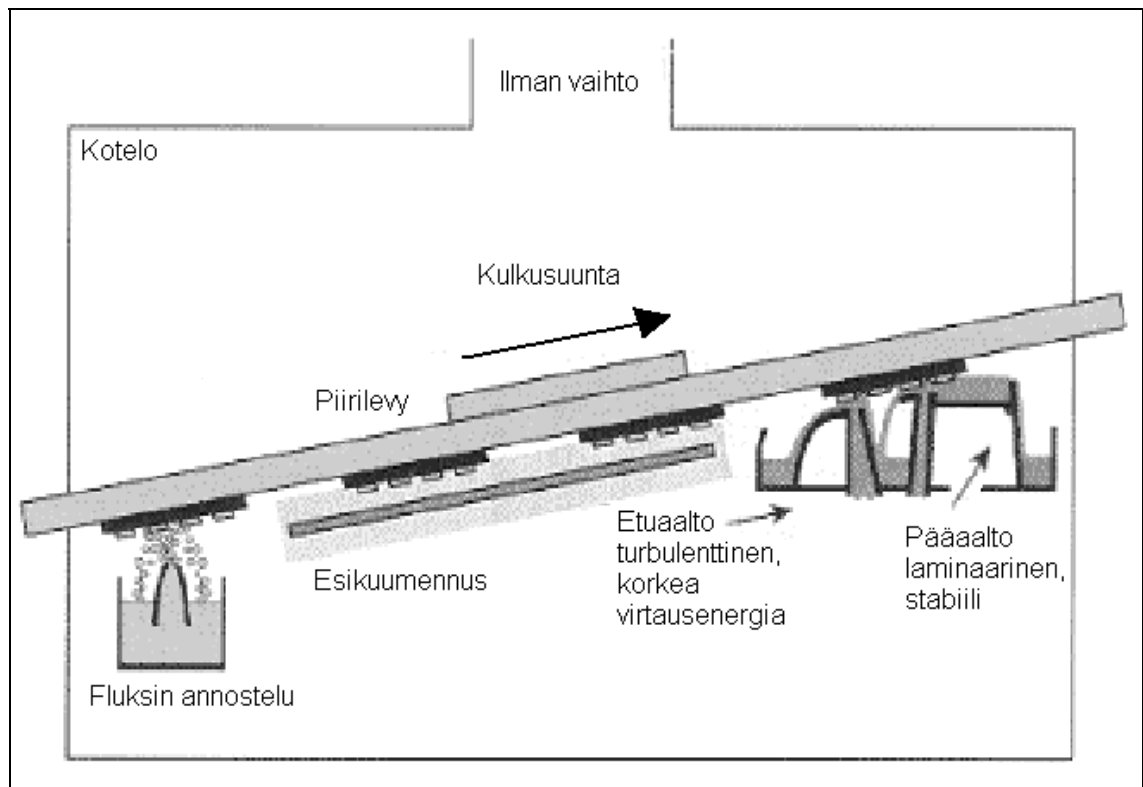
Kotelotyyppien rajoitukset juotosmenetelmiin selvitetään komponenttien valmistajien antamien prosessiohjeiden mukaan. Näissä voidaan ilmoittaa kotelotyyppin soveltuvuus, kelvottomuus ja ei-suositeltavuus tietyille juotosmenetelmille. Yleensä reflow-juotto ei aseta rajoituksia kotelotyypeille, mutta aaltojuotto rajoittaa tiettyjen kotelotyyppien juottamista. Yleensä aaltojuotto rajoittaa nelisivujohtimisia koteloita, esimerkiksi QFP (Quad Flat Pack), sillä tinajuote saattaa aiheuttaa johtimien välille juotossiltoja. [3.]

Lämmönkestävyys ilmoittaa maksimin lämpökuormituksen, minkä kotelo / komponentti kestää. Jokainen puolijohdekomponentti vioittuu, jos luvallisen raja ylitetään. Yleisesti valmistajat eivät ilmoita varsinaisesti kotelotyypeille lämmönkestävyyttä, vaan ilmoittavat komponenttityypeille datasivuilla maksimi juotoslämpötilan ja ajan tietyille juotosmenetelmille. Tästä johtuen jokaisen komponentin lämmönkestävyys täytyy selvittää ja dokumentoida tulevan tuotannon tarpeisiin. Komponentit luokitellaan yleensä niiden juotoslämpöresistanssin mukaan. Testeissä mitataan aika ja lämpötila kansainvälisten standardien mukaisesti. Näissä testeissä kotelotyyppit jaetaan luokkiin

sen mukaan, kuinka paljon ne kestävät tietyn ajan lämpöä. Tyypilliset luokitukset ovat 10 sekuntia 260 °C:ssa ja 60 sekuntia 235 °C:ssa. [3.]

7.1 Aaltojuotto

Aaltojuottaminen on prosessi (kuva 9), jossa koko piirilevyn juotettava puoli yhtäjaksoisesti fluksataan, esilämmitetään, upotetaan sulaan juotteeseen ja jäädytetään. Aaltojuotosprosessi suoritetaan kontrolloidulla ja toistettavalla tavalla ja se auttaa saavuttamaan korkean juotosliitosten saannon alhaisimmilla mahdollisilla kustannuksilla. [11.]



Kuva 9. Aaltojuotosprosessi [12.]

Aaltojuottamisessa on paljon muuttuvia parametreja ja osalla näistä muuttujista on suuri vaikutus lopulliseen juotoksen laatuun. Aaltojuotosprosessiin vaikuttavat parametrit voidaan jakaa kolmeen osaan:

Fluksin muuttujat:

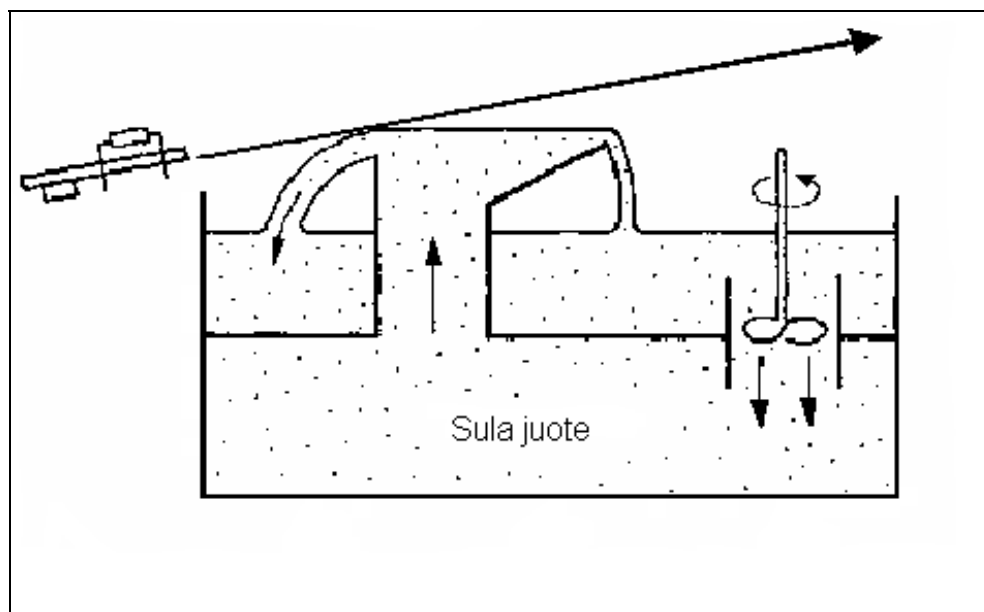
- fluksin tyyppi
- fluksin tiheys, vesipitoisuus ja tuoreus
- fluksin annostelu

Juotteen muuttujat:

- juotteen koostumus
- juotteen epäpuhtaus
- juotteen lämpötila

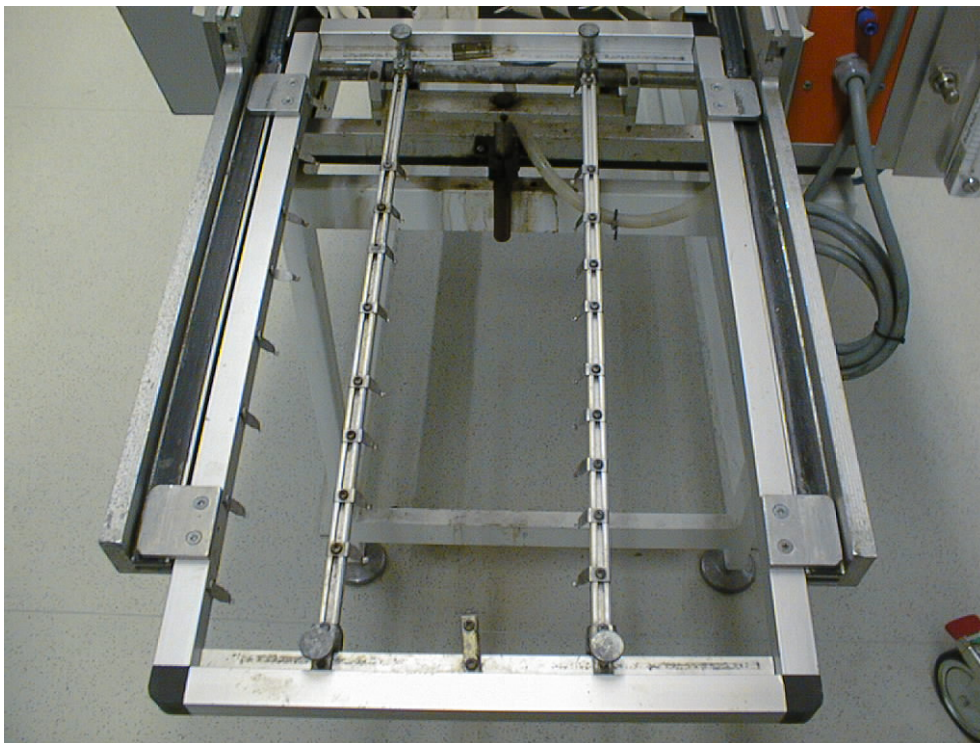
Aaltojuotoskoneen muuttujat:

- kuljettimen kulma
- kuljettimen nopeus
- esilämmitysvyöhykkeiden lämpötilat
- juotosaallon pituus, korkeus ja stabiliteetti
- juotosaallon profiili ja virtauskuvio (kuva 10)
- piirilevyn upotussyvyys juoteaallon harjalla [3.]



Kuva 10. Juotosaallon profiili ja virtauskuvio

Kun aaltojuotoskoneen asetukset on saatu määritettyä testiajoilla, voidaan aloittaa aaltojuotto. Juotettava piirilevy kiinnitetään erilliseen pidikkeeseen (kuva 11), tai kuljetinketjun kannattimien väliin.



Kuva 11. Pidike

Piirilevy fluksataan joko vaahdottamalla, ruiskuttamalla tai harjaamalla. Fluksin tehtävä juotostapahtumassa on:

- Poistaa epäpuhtaudet ja ohuet oksidikerrokset eli hapettumat juotoskohdeesta, sekä samalla estää uuden oksidikerroksen muodostumisen juotoslämpötilassa.
- Helpottaa juotteen leviämistä juotoskohteeseen, toisin sanoen auttaa kostumista ja pienentää juotteen pintajännitystä.

Liiallinen fluksin määrä piirilevyllä estetään ilmaveitsellä, jossa ilmavirta ”leikkaa” ylimääräisen fluksin pois. Esilämmityksessä piirilevyn lämpötilaa nostetaan niin, että fluksi alkaa toimia. Aktivoitunut fluksi alkaa liuottaa levyllä olevia epäpuhtauksia ja oksidikerrosta. Esilämmityksellä pienennetään myös piirilevyn ja komponenttien lämpöshokkia juotukseen mentäessä. Esilämmitys voidaan to-

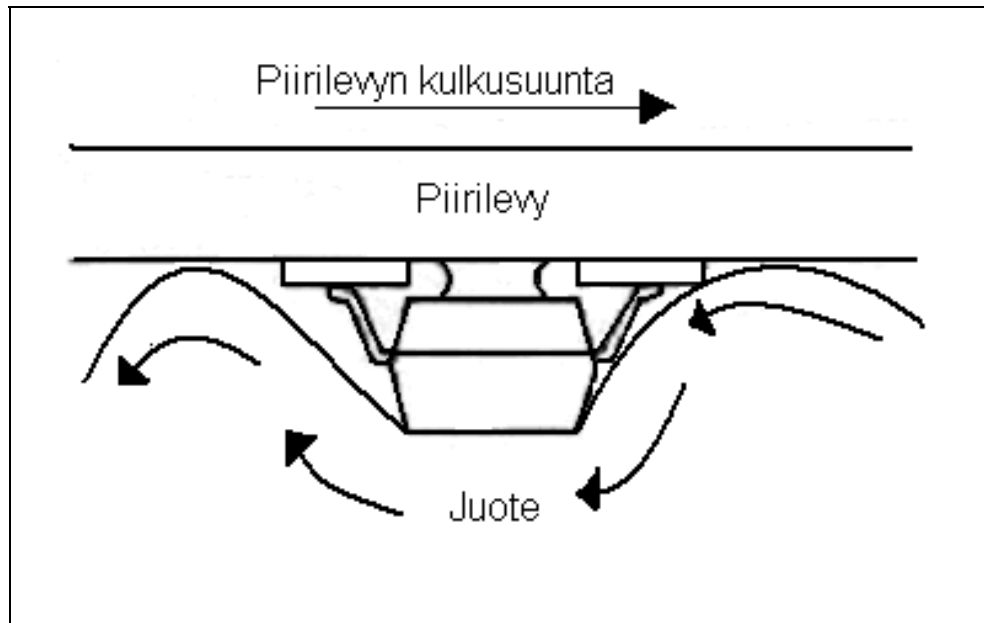
teuttaa konvektiolla, infrapunasäteilyllä tai vastuslämmityksellä. Esilämmityksen jälkeen seuraa juottaminen, jossa kalustettu piirilevy viedään sulan juoteaallon ylitse. Yleensä pintaliitoskomponentteja juottaessa käytetään 2-aaltoista juottamista. Etuaalto on kapea ja pyörteinen, jotta lämmön siirtyminen on tehokasta. Taka-aalto on leveä ja stabiili, joka pyyhkii ylimääräisen tinan pois ja estää tinasiltojen muodostumisen. Juotosprosessin viimeisenä vaiheena on piirilevyn jäähdytys, joko vapaasti ilmajäähdytyksellä tai koneellisella puhalluksella. Aaltojuotosprosessi vaatii piirilevyn suunnittelulta paljon, koska on käytettävä vain matalia komponentteja, joilla liitosjohtimet ovat kahdella sivulla. QFP- ja pala-komponentit ovat sijoitettava tietyssä kulmassa aaltoon nähden [12.].

Aaltojuottamisen etuja:

- edullinen valmistusmenetelmä
- monipuoliset sovellusmahdollisuudet
- lujat liitokset
- soveltuu pintaliitos- että läpiladottavien komponenttien samanaikaiseen juottamiseen

Aaltojuottamisen haittoja:

- komponenttien tulee kestää kasto sulaan juotteeseen
- oikosulut, tinapallot, vajaat juotokset
- likainen piirilevy
- rajoittaa komponenttien sijoittelua ja kotelotyyppejä
- katvealue (kuva 12), jossa komponentin toinen liitospinta ei kosketa aaltoa ja näin ollen ei juotu
- pintaliitoskomponentit vaativat liimauksen



Kuva 12. Katvealue aaltojuotoksessa

7.2 Reflow-juotto

Lämpöenergiaa virtaa materiaalista toiseen, kunnes yhteistä lämpötilaa vastaava termien tasapaino on saavutettu. Lämpö voi siirtyä johtamalla suorassa kosketuksessa, väliaineen kuljettamana (konvektio) tai sähkömagneettisena säteilynä. Reflow-uuneissa käytetään piirilevyn lämmittämiseen ja juottamiseen konvektiota ja säteilyä joko yhdessä tai erikseen. On huomioitava, että konvektiolämmityksessä (kiertoilmauuni) esiintyy myös lämpösäteilyä, joka on peräisin vastuksista ja ympäröivistä kuumista pinnoista. Samoin säteilylämmityksessä tapahtuu myös ympäröivän kaasun (ilma) lämpenemistä. Konvektiossa puhaltimelta puhalletaan sähkövastuksilla kuumennettu ilma tai suoja-kaasu kohtisuoraan piirilevyn pintaa vastaan useimmiten molemmien puolin. Ilman sisältämä lämpöenergia siirtyy piirilevyn pintaan rajapinnassa. Ilmakerros, joka luovuttaa lämpönsä piirilevylle, on rajakerros. Rajakerroksessa virtaus voi olla laminaarinen tai turbulenttinen. [13.]

Reflow-uunissa on useita itsenäisesti säädettäviä lämmityslohkoja, joiden ansiosta piirilevyn lämpötilaa voidaan kontrolloida. Uunissa on esilämmittimiä, yksi tehokas lämmitin (reflow) ja lisäksi jäähdyttimiä. Jokaisella lämmitysvaiheella on

oma tehtävänsä ja siksi lämpöprofiiliin täytyy olla tietynlainen. Uuneissa käytetään yleensä kolmivaiheista kuumennusta: ensimmäinen nopea kuumennus, jota seuraa lämpötilan taseus lämpöväliällä 120–160 astetta ja lopuksi nopea kuumennus juotoslämpötilaan. Viimeisimpänä vaiheena on piirilevyn jäähdytys, jolloin lämpötila laskee nopeasti. [13.]

Esilämmitys alkaa lämpötilan nopealla nostolla esilämmityslämpötilaan. Tämä vaihe haihduttaa pastasta liuottimet ja polttaa pois suurimman osan epäpuhtauksista. Kun lämpötila on saavuttanut asetetun esilämmityslämpötilan (120–160 astetta), sitä pidetään siinä maksimissaan viisi minuuttia (taseuslämmitys). Tarkoituksena on lämmittää fluksi aktiiviseksi ja tasoittaa sekä piirilevyn, että komponenttien lämpötila, jottei syntyisi liian nopeasta lämmityksestä aiheutuvaa lämpöshokkia. Lämpötilan nousu esilämmityksessä tulee olla alhaisempi kuin 2 astetta/sekunnissa. [13.]

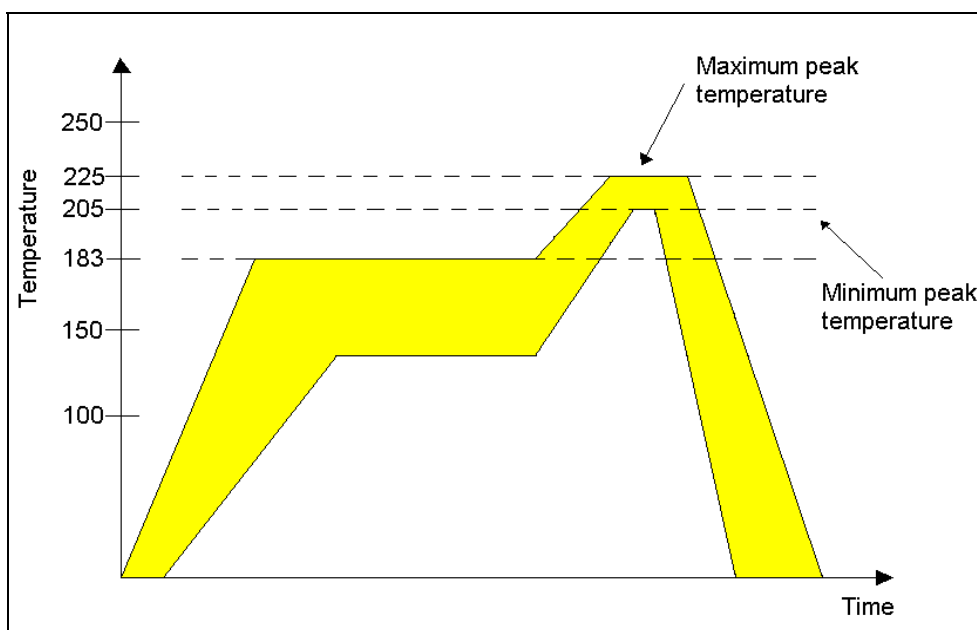
Esilämmityksen ja taseuslämmityksen jälkeen lämpötila nousee nopeasti reflow-lämpötilaan, jolloin juotepasta sulaa ja kostuttaa sekä komponenttien että liitántäaluideiden pinnan. Pintajännitys määrää liitosten muodon. Juotteen reflow alkaa kun pasta joutuu lämpötilaan, joka on korkeampi kuin juotteen sulamispiste (n. 210–235 astetta). Aika, jona juotostina on sulamispisteen yläpuolella, kutsutaan kostutusajaksi. Kostutusaika (sula-aika) on n. 60–70 sekuntia. Jos kostutusaika on liian pitkä, liitoksessa voi esiintyä välimetalliyhdisteitä, joka johtaa hauraisiin liitoksiin. [13.]

Reflow–juottamisen päämääriä ovat:

- Kaasuuntuvan juoksutteen poisto ja juoksutteen aktivointi.
- Toisiinsa liitettyjen materiaalien lämpötilan nosto tasolle, joka on tarpeeksi korkea juotto-operaation suorittamiseksi ja tarpeeksi tasainen hyvän juotteen virtauksen aikaansaamiseksi.
- Juotepastan reflow–prosessi, juotteen sulamiseksi ja hyvien tulosten takaamiseksi.

Jäähdytysvaiheessa piirilevy jäähdytetään sopivaan lämpötilaan. Jäähdytyksen alkupuoli on erittäin kriittinen, koska juotteen mekaaninen kesto on heikko 150 asteen yläpuolella. Tällöin tulee varoa lämpötilan äkillisiä muutoksia. Väärä jäähdytys voi aiheuttaa piirilevyn ja komponenttien välisiä lämpötilaeroja, jolloin vaurioita voi syntyä kiinnityskohtiin. Lopullisen jäähdytyksen tarkoituksena on vähentää mahdollista hapettumista ja helpottaa käsittelyä. [13.]

Profiloinnin päämääränä on toimia turvallisella lämpötila-alueella, jonka minimiä kontrolloidaan kunnollisen juotoksen varalta ja maksimia ylikuumentumisen välttämiseksi. Käytännössä ihanteellista profiilia on mahdoton saavuttaa, koska piirilevyt koostuvat yleensä niin monista eri komponenteista. Siksi lämpötilaprofiili pitäisi esittää lämpötilakaistana (toleranssirajat), jonka rajoissa kaikkien liitosten on pysyttävä (kuva 13).



Kuva 13. Lämpötilaprofiili

Lämpötilaprofiilia kuvataan periaatteessa kolmella tekijällä: huippulämpötilalla, lämpötilan muutoksen maksiminopeudella ja tinan sula-ajalla. Profiiliin vaikuttavat:

- kuljettimen nopeus
- vyöhykkeiden lämpötilat
- kaasun virtausnopeus
- kierrosta poistettavan kaasun määrä
- juotettavan tuotteen terminen massa

8 LAITEKOTELOT

Useimpiin pieniin elektroniikkakytkentöihin riittää edullinen muovikotelo. Jos laite on tarkoitettu kovaan ammattikäyttöön häiriöisissä olosuhteissa, on metallikotelo lähes ainoa oikea ratkaisu. Muovikotelolla on hyvä sähköinen eristys ja muovilaadusta riippuen kohtuullinen kestävyys. Metallilla saavutetaan suurempi mekaaninen kestävyys ja lisäksi metallikotelo toimii jäähdytyspintana. Tätä ominaisuutta voidaan parantaa vielä entisestään jäähdytysrivoilla. Jos nekään eivät riitä, voidaan koteloon tehdä jäähdytysaukkoja ja lisätä tarvittaessa puhaltimia. [10.]

Elektroniikan lämpenevät osat muodostavat tulipaloriskin. Varsinkin vikatilanteissa komponenttien lämpötilat saattavat kasvaa hyvin suuriksi. Metallikotelo on tällöin erinomainen valinta, sillä mahdollinen palonalku rajoittuu tällöin kotelon sisälle. Jos vähemmän lämpiävissä laitteissa halutaan käyttää muovikoteloita, voidaan käyttää itsestään sammuvia muoveja kuten PVC- ja ABS-muoveja. [10.]

Polykarbonaatti on amorfinen kestmuovi. Sen suuri lämmönkestävyys ja erittäin hyvät fysikaaliset ominaisuudet tekevät siitä lähes ideaalisen materiaalin suojaaviin koteloihin. Polykarbonaatti kestää suuriakin lämpötilan vaihteluja eikä esimerkiksi kosteudesta ole haittaa, sillä materiaali on täysin eristävää ja korrosiokestävä. Paloluokituksestaan itsestään sammuvana materiaalina polykarbonaatti ei myöskään vaadi suojaavia maali- tai lakkapinnoitteita. [10.]

ABS on myös amorfinen kestmuovi. Sen kestävyys ei ole samaa luokkaa kuin polykarbonaatin, mutta hyvät fysikaaliset ominaisuudet ja hyvä kemiallisten aineiden sieto tekevät ABS:stä oivallisen ja hinnaltaan edullisen vaihtoehdon käyttösovelluksiin sisätiloissa. [10.]

Metalleilla ominainen ongelma on hapettuminen. Pintakäsittelyllä voidaan estää metallin hapettuminen. Maalaaminen ja lakkaaminen ovat helposti toteutettavia pinnoitusmenetelmiä. Kiillotettu ja lakattu alumiinipinta on myös edustava kotelomateriaali. Mattamustaksi maalatulta metallipinnalta taas lämpö haihtuu parhaiten ilmaan. Sarjavalmistuksella voidaan valmistaa näyttäviä kotelorakenteita syövytetyin merkinnöin ja pinnan eloksoinnein. Metallikotelon haittapuolena on usein paino. Lisäksi kemiallisia aineita vastaan on metalli pinnoitettava sopivalla materiaalilla. [10.]

Kosteudella on haitallinen vaikutus sähköisiin laitteisiin. Sähkö ja kosteus aiheuttavat yhdessä hapettumista, joka aiheuttaa ajan myötä ongelmia laitteen toimintaan. Hyvä suoja hapettumista vastaan saadaan suojaamalla elektroniikkalaitteet suojalakalla. Suojalakka eristää sähköiset osat kotelon sisäilmasta. Kosteuden pääsyn kokonaiselle piirilevylle saa parhaiten estetyksi valamalla muovinen laitekotelo täyteen hartsia tai silikonia. Tämä sopii parhaiten laitteisiin, joissa edellytetään järeää suojausta kosteudelta tai kaasuilta. Lisäksi valumenetelmä tukee komponentteja siten, etteivät ne pääse täriseämään irti juotoksistaan. Esimerkiksi autoissa käyttöolosuhteet ovat erityisen vaativia lämpötilan vaihtelujen ja tärinän takia. Kotelon täyttäminen suoja-aineella voi hankaloittaa laitteen korjausta, koska vioittunut komponentti on suoja-aineen peitossa ja se täytyy ensin puhdistaa siitä ennen komponentin vaihtoa. [10.]

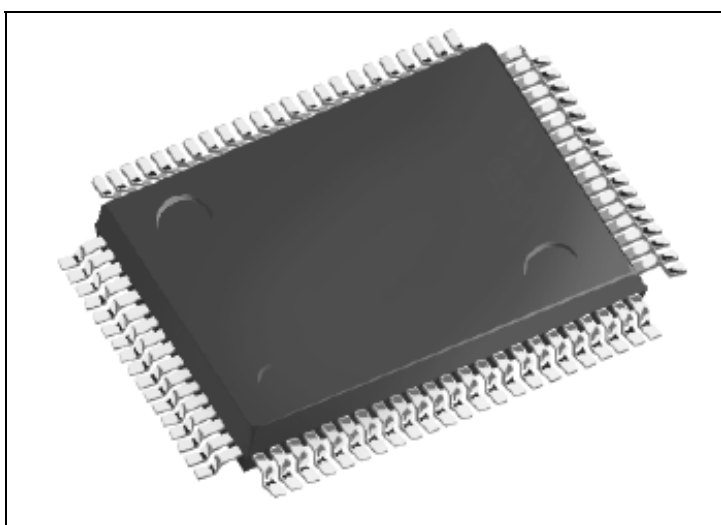
9 LAITTEEN TOIMINTA

Laite on ilmanpainemittari, joka mittaa ilman lämpötilan ja paineen. Mittari toimii myös ns. rekisterinä, eli siitä voidaan seurata ilmanpaineen muutos. Battery mode indicatorilla nähdään milloin ollaan patterikäytöllä tai virtalähteessä kiinni. Diodit D1 ja D2 erottavat patterin virtalähteestä, eli virtalähde ei pääse lataamaan patteria ja toisinpäin. Jos virtalähde kytketään niin, se pystyy syöttämään enemmän virtaa sen kautta, jolloin patterista ei oteta virtaa. D2:n anodilta menee johto vastuksien R4 ja R6 kautta transistorille, joka siis johtaa silloin kun virtalähde on käytössä. Kun transistori johtaa, menee kollektori maihin, jolloin kontrollerin pinnissä näkyy looginen nolla. Tämä on seurauksena, ettei näyttöä sammuteta ja esimerkiksi taustavaloa voidaan pitää pitempään päällä. Kun transistori ei johda, näkyy kontrollerille looginen ykkönen. MAX1044-piirillä tehdään LCD-näytölle negatiivinen käyttöjännite, jota se tarvitsee pikseleiden ohjaukseen.

Näppäimissä diodeja käytetään tekemään keskeytyslinjaan pulssi heti kun jotain näppäintä on painettu. Näin näppäimiä ei tarvitse painaa koko ajan vaan saadaan muodostettua keskeytysohjattu toiminto. PD3-pinnissä on sisäinen ylösvetovastus päällä ja kun painonappia painetaan, menee se maihin (0.5V), koska virta kulkee diodin läpi maahan. Kontrollerin keskeytysaliohjelmassa sitten käydään lukemassa näppäimet. Sine to Squarewave converttereilla saadaan 32kHz siniaaltoa kiteeltä ja muutetaan se kanttiaalloksi.

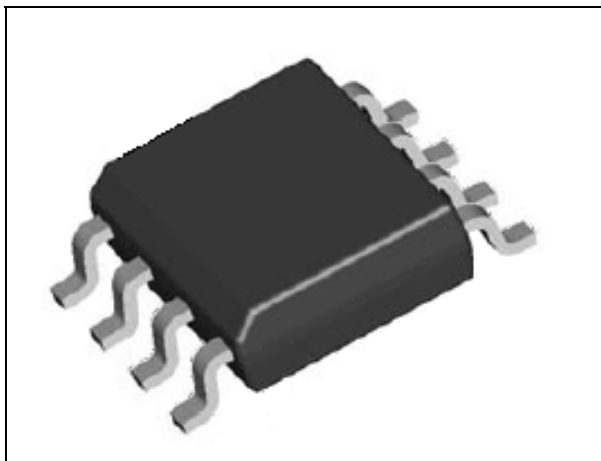
10 KOMPONENTTIEN VALINTA

Prototyypin komponenttien (liite B) kotelotyypeiksi lähdettiin valitsemaan sellaisia kotelomalleja, joiden juotosten tarkastelu voitaisiin toteuttaa optisesti, jolloin liitinjalat ja liitäntäpinnat tulisi olla näkyvissä. Mikrokontrollerin U1 kotelotyyppiä valittiin TQFP 44 (TQFP, Thin Quad Flat Pack 44 Pins), siinä johtimet sijaitsevat neljällä sivulla (kuva 14).



Kuva 14. TQFP

QFP:n valintaan vaikutti sen yleinen tekniikka ja soveltuvuus reflow-juotokseen. Myös edullinen hinta ja helppo saatavuus vaikuttivat merkittävästi. Pienillä johdinlukumäärillä se ei tuota ongelmia pastauksessa tai ladonnassa. Vaativuutta kotelotyyppin valinnalle tuo käsin tapahtuva ladonta. Mikropiirien U3, U5 ja U6 koteloiksi valittiin SO(IC) 8 (SOIC, Small Outline Integrated Circuit 8 Pins) (kuva 15) niiden yleisen tekniikan vuoksi. Ne eivät aiheuta ongelmia pastaukseen, ladontaan tai juottamiseen.



Kuva 15. SO-8

Transistorit Q1-4 valittiin SOT-23 kotelolla (kuva 8), joka on yleisin kotelotyyppi pintaliitosasennettaville transistoreille ja se oli käyttöteholtaan riittävä. Diodit D1-2 ja D6-8 valittiin MELF-kotelolla (kuva 16) siten, että diodit D1-2 olisivat BYV 10-60 kotelolla ja diodit D6-8 olisivat BAS 85 kotelolla. BYV 10-60 kotelosta käytetään yleisimmin merkintää SOD-87, joka on mikro-MELF-rakenteella. BAS 85 kotelosta käytetään yleisimmin merkintää SOD-80, joka on mini-MELF-rakenteella. Diodit SOD-80 ja SOD-87 eroavat toisistaan kotelon koolla ja virrankestoltaan.



Kuva 16. MELF-kotelo

Passiivikomponenteista kondensaattorit ja vastukset valittiin 1206 kotelolla, jolla saataisiin riittävä tarkkuus ja tehonkesto. Elektrolyyttikondensaattorit C3-8 valittiin palakotelolla, jotka voitaisiin juottaa 60x100 milsin padeihin.

Jumperointi- ja ohjelmointiliittimiksi valittiin reikäasennettavat mallit, koska näin saataisiin riittävä rasituksen kesto liitoksiin. Liittiminä käytettiin tavallista piikki-
rimaa, jossa jalkojen pitch (jalkojen etäisyys toisistaan, mitattuna niiden keskipisteestä) on 2.54 mm. Painonapeiksi PB1-4 valittiin Farnellin 674-953 pintaliitosmalli, jossa saavutetaan hyvät hinta- ja laatusuhde. Samaa mallia käytetään myös koulun omassa avaimenperä prototyypissä. Painonappi voidaan juottaa neljään 2.5x1.2 mm:n padeille. Trimmereiksi RV1-2 valittiin Bournsin 3314J pintaliitosmalli, jossa saavutetaan hyvät hinta- ja laatusuhde. Trimmerit voidaan juottaa 2.0x1.3 ja 2.0x2.0 mm:n padeille. Paineanturiksi U2 valittiin Interseman valmistama MS5534A-pintaliitosmalli. Anturista oli edellisestä prototyypistä hyvät kokemukset, joten sitä ei lähdetty muuttamaan. Piirilevy materiaaliksi valittiin FR-4, sen hyvien fyysisten ja sähköisten ominaisuuksien vuoksi.

11 PIIRILEVYSUUNNITTELU

Insinööriyön tehtävän rajauksessa piirilevy suunnittelulle asetettiin seuraavat vaatimukset: piirilevyn koko ei saisi ylittää 120x75 mm, käytetyt toleranssit ja eristevälit olisivat sellaiset, jotta prototyyppi voitaisiin valmistaa koulun tuotantotekniikan laboratoriovälineillä. Piirilevy päätettiin tehdä kaksipuolisena, kuitenkin niin, että komponentit sijaitsisivat samalla puolella ja osa johdotuksesta voitaisiin viedä piirilevyn toisella puolella. Näin voitaisiin estää piirilevyn koon kasvaminen liian suureksi.

11.1 Ohjelma

Piirilevy suunnittelussa käytettiin PowerLOGIC- ja PowerPCB 5.0-ohjelmaa. PowerLOGIC-ohjelma on piirikaavioeditori, jossa voidaan käytettyyn kytkentään määrittää funktionaaliset muutokset, kuten komponenttien ja kytkentöjen muodostaminen ja muokkaaminen. PowerPCB-ohjelma on piirilevy suunnittelu, jossa kytkentään muodostetaan geometriset muutokset, kuten komponenttien sijoitus, johdotus ja dokumentointi.

11.2 Komponenttien sijoitus

Komponenttien sijoittelu (liite C) aloitettiin niistä komponenteista, joiden sijainti on suurin piirtein määrätty piirilevyllä. Kiinnitysreiät sijoitettiin omille paikoilleen piirilevyn nurkkiin. Näytön liitin U4 sijoitettiin piirilevyn vasempaan reunaan, jotta sen käyttö olisi mahdollisimman helppoa ja vaivatonta. Jumperointi liittimet J3-4 sijoitettiin piirilevyn yläosaan, sijoituksessa oli otettava huomioon niiden kytkentä. Verkko- ja patteriliitin sijoitettiin piirilevyn oikeaan yläkulmaan helpon käytön vuoksi. Ohjelmointiliittimen sijoitus riippui sen yhteydestä Mikrokontrolleriin U1. Tämän vuoksi se jouduttiin sijoittamaan piirilevyn alaosaan lähelle kontrolleria.

Mikrokontrolleri U1 sijoitettiin keskelle piirilevyä, koska sen kotelotyyppi oli QFP, jossa johtimet sijaitsevat kaikilla neljällä sivulla. Tämän jälkeen sijoitettiin paikoilleen passiivikomponentit kuten vastukset ja kondensaattorit, joiden sijoituksessa oli otettava huomioon niiden yhteydet. Paineanturi U2 sijoitettiin kontrollerin oikealle puolelle. Näyttö kiinnitettiin muovikotelon kanteen ja sijainti piirilevyn yläpuolelle, mahdollisimman keskelle. Näytön sijainnin perusteella painonapit PB1-4 ja ledit D3-5 sijoitettiin piirilevyn alaosaan siten, että ledit sijoitettiin painonappien väliin, jolloin niiden molemmin puolin jäi kaksi painonappia. Näin laitteen käytöstä saataisiin mahdollisimman helppoa ja ergonomista.

11.3 Johdinleveydet ja eristevälit

Piirilevysuunnitteluun on ohjeistettu käytettäväksi tiettyjä johdinleveyksiä ja eristevälejä riippuen piirilevyn tyypistä. Seuraavassa taulukossa on esitetty tyyppillisesti käytettyjä mittoja (taulukko 4).

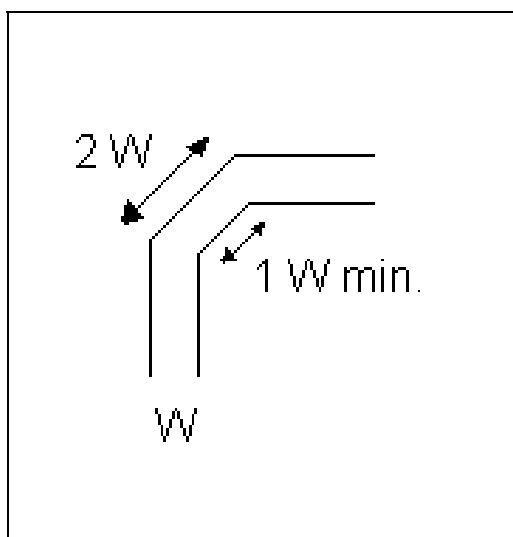
Taulukko 4. Tyypilliset johdinleveydet ja eristevälit [14.]

Piirilevyn tyyppi	Johdinleveys	Eristeväli	Läpiviennin padi- ja reikäkoko
1-kerrospiirilevy, ei välistävetoja DIP-koteloiden nastojen välistä	0,5-1 mm	0,35 mm	hyppylanka 1,6 mm, 1 mm
1-kerrospiirilevy, 1 veto nastavälistä	0,33 mm	0,3 mm	hyppylanka 1,6 mm, 1 mm
2-kerrospiirilevy, normaaleja DIP-koteloita, 1 veto nastavälistä	0,33 mm	0,3 mm	1,4 mm, 0,7 mm
2-kerrospiirilevy, DIP-koteloita, 2 vetoa nastavälistä	0,2 mm	0,2 mm	0,9 mm, 0,6 mm
Pintaliitospiirilevyt	0,2 mm	0,2 mm	0,8 mm, 0,5 mm
Tiheät pintaliitospiirilevyt	0,1 mm	0,1 mm	0,6 mm, 0,4 mm
uBGA-kotelot	75-100 µm	50-75 µm	laserläpivienti 350 µm, 150 µm

Vaikka eristeväliksi ja johdinleveydeksi suositellaan pintaliitospiirilevylle 0,2 mm, niin tässä tapauksessa valittiin varmuuden vuoksi 0,3 mm ja läpiviennin padi- ja reikäkooksi valittiin 1,6 mm ja 0,9 mm, koska piirilevyn syövytykseen tarvittava valotusmaski tulotisiin tulostamaan kalvolle tavallisella tietokoneen tulostimella, jossa tulostustarkkuus asettaa tiettyjä vaatimuksia tulostettavalle jäljelle. Piirilevyn valotus- ja syövytyslaitteisto ei aiheuta rajoitteita. Näillä arvoilla piirilevyn koko saatiin rajattua 100x75 mm:iin.

11.4 Valmistukseen huomioitava

Piirilevynsuunnitteluvaiheessa otettiin huomioon paineanturin vaatima reikä piirilevyssä sen kotelossa olevan suoja-aineen vuoksi. Näin ollen piirilevyn toiselle puolelle paineanturin kohdalle ei voitaisi sijoittaa johdotuksia tai läpivientejä. Signaalien johdotuksissa pyrittiin välttämään 90 asteen kulmia, koska se saattaisi aiheuttaa ongelmia laitteen toiminnassa ja piirilevyn syövytyksessä. Signaalien kulmat toteutettiin kuvan 17 mukaisesti:



Kuva 17. Signaalien mutkan muodostuminen.

Käytettäessä liittiminä läpiladottavaa mallia jouduttaisiin johtimet viemään liittimille piirilevyn toisella puolella. Näin liittimet voitaisiin sijoittaa samalle puolelle muiden komponenttien kanssa. Liittimien kotelotyypin vuoksi juottaminen jouduttaisiin toteuttamaan käsin. Juottaminen toteutettaisiin näin ollen kahdessa osassa, ensin pintaliitoskomponenttien reflow-juotto, jonka jälkeen liittimien käsin juotto. Myös kellokiteen juottaminen jouduttaisiin toteuttamaan käsin, koska kiteen kotelo on läpiladottavaa mallia.

12 PROTOTYYPIN VALMISTUS

Prototyypin valmistuksessa käytettiin samoja vaatimuksia kuin elektroniikka-tuotannossa suositellaan käytettävän. Komponentteja käsiteltäessä huolehdittiin ESD-suojauksesta (ESD, Electrostatic Discharge) ja käytettäville tuotantolait-teille haettiin aluksi sellaiset asetukset, jotta saatu tulos olisi hyvä ja tasalaatuinen. Valmistusprosessissa huomioitiin myös tarvittava siisteys ja puhtaus, näin ollen valmistuksen onnistuminen voitaisiin taata jatkossakin.

12.1 Piirilevyn syövytys

Piirilevyn valmistus aloitettiin tulostamalla valotukseen tarvittava valotusmaski (liite D) ja muodostamalla PowerPCB-ohjelmalla liittimien ja läpivientireikien poraukseen tarvittava poraustiedosto. Reikien poraus tapahtui ISEL-piirilevyjyrsimellä (kuva 18).



Kuva 18. ISEL-piirilevyjyrsin

Jyrsimen ohjauksen muodostaa PC-tietokone ja siinä oleva PrimCam-ohjelmisto (Kuva 19). Poraustiedosto sisältää ohjelman vaatimat reikien koordinaatit, työstö- ja syöttöliikkeiden nopeudet ja ohjelman aloitus- ja lopetuskoodit.



Kuva 19. PrimCam-ohjelmisto

Valoherkällä lakalla päällystetty 2-puoleinen piirilevy valotettiin UV-valolla ISEL-valotuslaitteella (kuva 20). Piirilevyn molemmat puolet valotettiin yhtä aikaa.

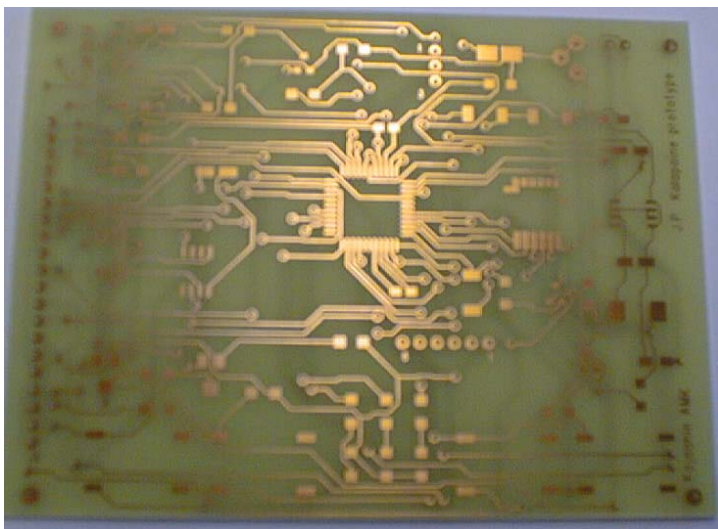


Kuva 20. ISEL-valotuslaite

Valotuksessa muodostettu johdinkuvio kehitetään ensin yhdistelmälaiteessa (kuva 21), jolloin piirilevyn pintaan muodostuu syövytyksen kestävä resistikalvo. Valotukseen käytetään natriumhydroksidia (lipeä). Kehityksen jälkeen piirilevy syövytetään yhdistelmälaiteessa natriumpersulfaatilla (syövytyssulfaatti). Natriumpersulfaatti syövyttää piirilevyltä resistikalvon ominaisuuksista riippuen valotuksessa suojatun tai suojaamattoman kuparin pois. Tässä tapauksessa syövytetään suojaamaton kupari pois (kuva 22). Syövytykseen jälkeen kuparin pinnalta poistetaan vielä suojalakka, jotta se ei vaikuttaisi juotukseen.



Kuva 21. Yhdistelmälaite



Kuva 22. Syövytetty piirilevy ja osittain poistettu suojalakka.

12.2 Pastaus

Piirilevyn pastaus suoritettiin CAM/ALOT 5000 Dispenserillä (kuva 23). Dispenseri on laite, jota käytetään juotospastan ja komponenttiliiman annosteluun piirilevylle. Laite koostuu pumppuyksiköstä, tietokoneesta, kuljettimesta sekä kamera/monitori yksiköstä. Dispenseri on osa tuotanto linjaa, joka toimii rinnakkain pastanpainokoneen kanssa, riippuen linjan käytöstä. Dispenseri sijoittuu linjan alkupäähän ja se saa tulevat piirilevyt kuljetinta pitkin kasetin purkajalta. Dispenseriltä kortit jatkavat matkaa komponenttien ladontaan.

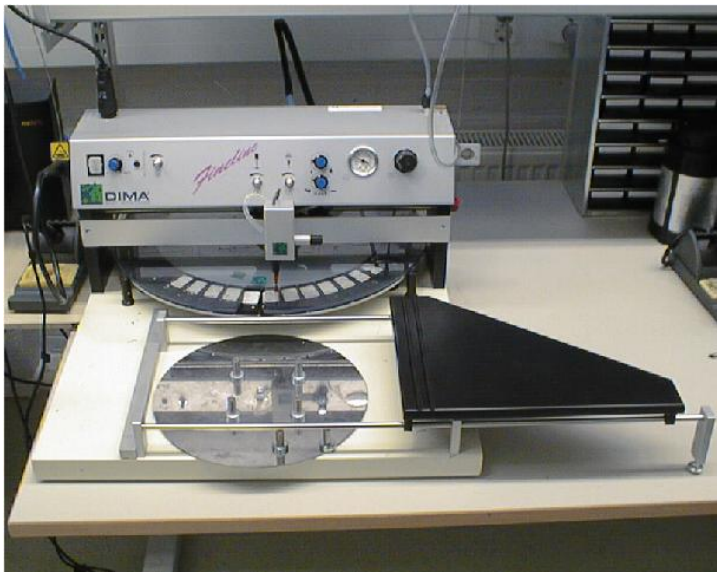


Kuva 23. Dispenseri CAM/ALOT 5000

Pastauksessa laite annostelee juotospastaa piirilevylle ohjelmassa määriteltymiin kohtiin. Pasta annostellaan ohuella neulalla padien päälle. Pastan määrä riippuu juotettavan komponentin koosta. Pastan pumppuna käytetään vasemmanpuoleista pumppua. Pastattaessa pumpun ilmanpaine tulee olla noin 15 psi (1.3 bar). Kokeilemalla eri asetuksia, päädyttiin valitsemaan 0.52J neulakoko ja pastan pistekooksi 4 (Shotsize). Pastana käytettiin Kokin SS58-M955LV (62Sn-36Pb-2Ag) pastaa, koska paineanturin U2 liitäntäpinnoissa oli käytetty hopeaa.

12.3 Ladonta

Prototyypin komponenttien latominen päätettiin suorittaa käsinlatomalla, koska ladottavia komponentteja oli pieni määrä ja automaattiseen ladontakoneeseen ladontaohjelman tekeminen olisi ollut työlästä. Komponenttien ladonta piirilevyille suoritettiin käsintyöskentelyasemassa Fineline SMFL-3000, imuottimen avulla (kuva 24).



Kuva 24. Käsintyöskentelyasema

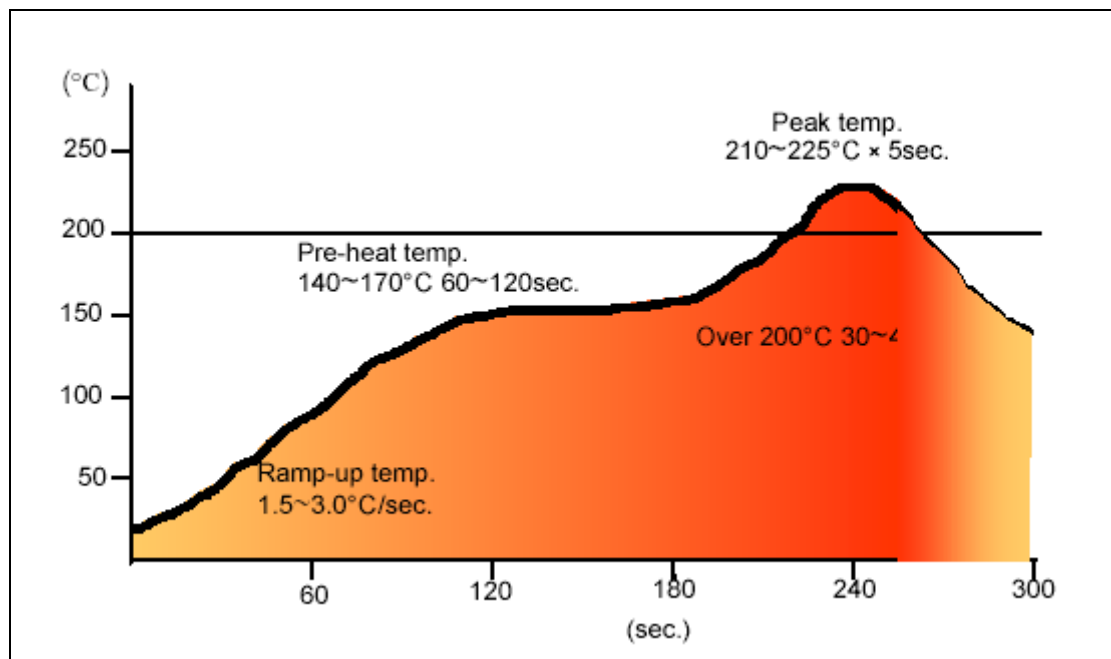
12.4 Juottaminen

Prototyypin piirilevyn juottaminen päätettiin suorittaa reflow-juottamalla. Reflow-uuni Bravo 8105 (kuva 25) koostuu 8 lämmitysvyöhykkeestä sekä 2 jäähdytysvyöhykkeestä. Lämmittimillä voidaan lämpötila nostaa aina huoneenlämmöstä 300 °C:een asti.



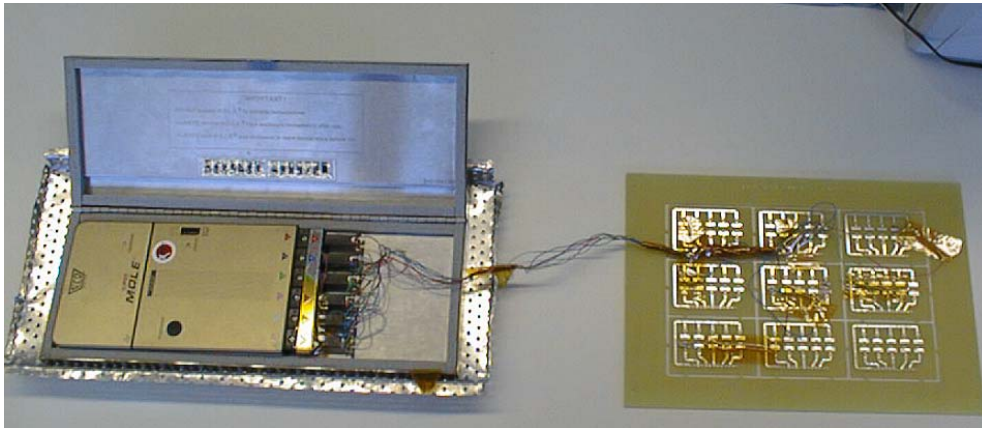
Kuva 25. Reflow-uuni Bravo 8105

Ennen reflow-juottamista täytyy käytetylle pastalle hakea oikea lämpötilaprofiili, pastan valmistajat antavat sopivat lämpötilaprofiilit kullekin pastalleen (kuva 26).



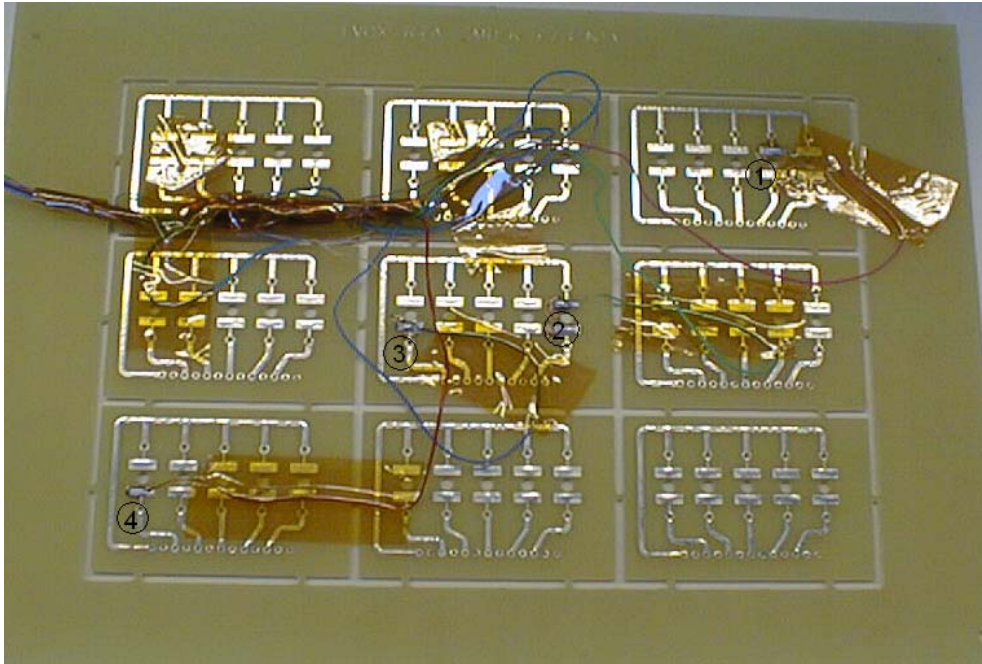
Kuva 26. KOKI SS58-M955LV pastan suositus lämpötilaprofiili.

Profiilin määrittelyssä käytettiin siihen tarkoitettua SuperM.O.L.E -mittalaitetta (kuva 27).



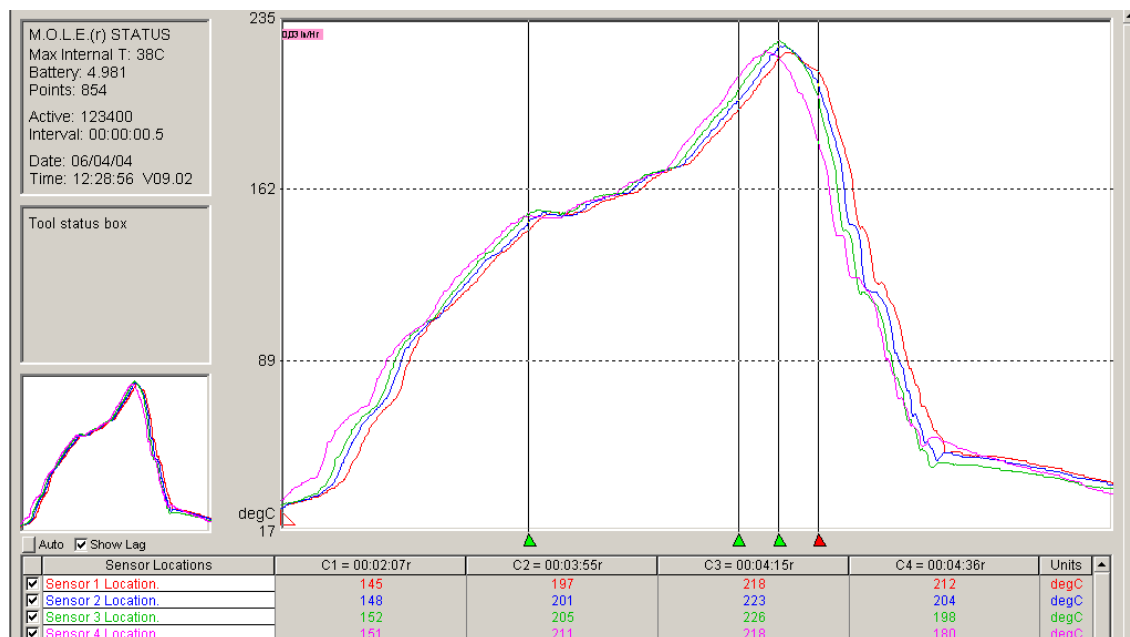
Kuva 27. SuperM.O.L.E –mittalaite

Mittalaitteessa on kuusi termoparia (anturia), joista yksi tai useampia kiinnitetään testattaviin piirilevyihin tai komponentteihin. Mittalaite tallentaa jokaisen termoparin lähettämän lämpöprofiilin omalle kanavalleen. Käytettävän termoparin tyyppi riippuu valvottavasta lämpötilasta eli juottotavasta. Termoparit tuottavat jännitettä, joka muuttuu lämpötilan muuttuessa tietyllä suhteella. Tämä jännite muutetaan tietokoneella lämpötilaksi. Menetelmä, jolla termopari kiinnitetään piirilevyyn, on valittava huolellisesti, sillä sen on pysyttävä paikoillaan valvonnan aikana lisäämättä mitattavan alueen lämpövaatimuksia. Termoparit kiinnitettiin piirilevyille korkeanlämpötilan juotteella. Piirilevyille kiinnitettiin neljä termoparia siten, että ne sijaitsivat piirilevyllä tasaisin välein (kuva 28).



Kuva 28. Termoparien 1-4 sijoitus piirilevyllä.

Oikean lämpötilaprofiilin hakemisessa aloitettiin asettamalla noin suurin piirtein reflow-uunin vyöhykelämpötilat, josta jatkettiin säätämällä vain yhtä muuttujaa kerrallaan, jotta pysyttäisiin selvillä mitkä muuttujat vaikuttavat mihinkin. Lopujen loppuksi saatiin varsin nopeasti haettua sopivan lämpötilaprofiilin pastaa varten (kuva 29).



Kuva 29. Saatu lämpötilaprofiili

Reflow-uunin kuljettimen nopeudeksi saatiin 75 cm/min ja vyöhykkeiden lämpötiloiksi (taulukko 5):

Taulukko 5. Reflow-uunille saadut vyöhykkeiden lämpötilat.

Vyöhyke	1	2	3	4	5	6	7	8
Lämpötila°C	105	135	155	175	175	185	220	260

12.5 Kotelon suunnittelu

Laitekotelon suunnittelu aloitettiin AutoCAD -ohjelmistolla ja mallinnettiin ProEngineer 3D -ohjelmalla. Kotelon suunnittelua ei voida aloittaa ennen kuin prototyyppi on valmis, koska silloin nähdään piirilevyn ja komponenttien vaatima tila. Kotelon materiaaliksi valittiin polyasetaali sen hyvien työstöominaisuuksien vuoksi. Samaa materiaalia käytetään koulun omassa avaimenperäprototyyppissä.

12.6 Kotelon valmistus

Kotelon valmistus suoritettiin NUMO 5 NC-jyrsinlaitteistolla (kuva 30). Koneen ohjauksen muodostaa PC-tietokone ja siinä oleva PrimCam-ohjelmisto (kuva 19). Kone sallii kommentit sekä standardin mukaisen NC-ohjelman. Ohjelmassa ei tarvitse toistaa samana pysyviä NC-sanoja. Ohjelmointi tapahtuu vaihe kerrallaan, eli koodi kirjoitetaan ainoastaan yhdelle kuviolle kerrallaan.

13 TULOSTEN TARKASTELU

Alkutilanteena oli läpiladottavilla komponenteilla toteutettu piirilevy, jonka koko oli 100x85 mm. Piirilevysuunnittelulla päästiin pienentämään piirilevy 100x75 mm:n kokoon. Suunnittelussa ei lähdetty pienentämään piirilevyä kovin paljoa, vaan keskeisenä pääkohtana oli piirilevyn ja kytkentöjen muuttaminen pintaliitostekniikalla toteutetuksi. Piirilevy valmistettiin kaksipuolisena, jossa komponentit sijaitsivat samalla puolella ja osa signaalien johdotuksesta vietiin piirilevyn toisella puolella. Pintaliitoskomponentteja käyttämällä piirilevyn yleisilme saatiin siistittyä ja samalla sen painoa kevennettyä. Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin ja prototyypin muuttaminen pintaliitostekniikalla toteutetuksi onnistui hyvin. Myös prototyypin valmistettavuus parani ja saavutettiin hyvä soveltuvuus tuotantolinjalle ja erityisesti sarjatuotantoon. Valmistusaika lyheni merkittävästi. Muutostyöllä prototyypille saatiin muodostettua hyvä laatu ja pysyvyys.

14 KEHITYSKOhteita

Tuotteen jatkokehityksiä voisi olla piirilevyn pienentäminen ja signaalien paremmin järjesteleminen, kuten maa- ja signaalihohtimien keskittäminen. Laitteen piirilevyn pienentäminen saataisiin toteutettua, jos piirilevyn toinen puoli otettaisiin komponenttisijoittelussa mukaan, esimerkiksi osa passiivikomponenteista voisi hohtimien lisäksi sijoittaa piirilevyn toiselle puolelle. Näin ollen piirilevyn koko saataisiin pienennettyä merkittävästi, mutta on otettava huomioon kuitenkin laitteen ergonomia, laitetta on pystyttävä helposti käyttämään. Liian pientä laitetta on vaikea käyttää. Molemmiin puolin tapahtuvalla komponenttisijoittelulla saataisiin myös läpivientien määrää pienennettyä, nykyisestä 97:stä, mutta juottaminen jouduttaisiin toteuttamaan 2-vaiheisena. Jos laite tulee koulun tuotantolinjastolle projektiksi, olisi syytä tehdä ladontakoneelle ohjelma ja pastauksen suorittamista raakkelin ja stensiilin avulla tulisi harkita.

15 YHTEENVETO

Insinööriyön haasteellisin vaihe oli piirilevysuunnittelu. Ohjelmisto sisälsi vain yleisimmät komponentit kuten läpiladottavat ja pintaliitoasennettavat vastukset ja kondensaattorit. Ensimmäinen vaihe oli komponenttien luominen ohjelmiston komponenttikirjastoon, jota ei oltu aikaisemmin opetettu. Komponenteista jouduttiin luomaan sekä kytkentäkaavion piirrosmerkintä, että komponentin tarvitsemat padit. Tämä vaihe vei kolminkertaisesti aikaa mitä oltiin piirilevysuunnittelulle varattu, hieman helpotti se, että piirilevyn kokoa ei lähdetty pääasiassa pienentämään vaan keskityttiin täysin tekniikan muuttamiseen. Helppoin vaihe oli itse rakentaminen ja tuotantolaitteille sopivien asetuksien hakeminen.

Alkutilanteena oli läpiladottavilla komponenteilla toteutettu piirilevy, jonka koko oli 100x85 mm. Piirilevysuunnittelulla päästiin pienentämään piirilevy 100x75 mm:n kokoon. Piirilevy valmistettiin kaksipuolisena, jossa komponentit sijaitsivat samalla puolella ja osa signaalien johdotuksesta vietiin piirilevyn toisella puolella. Pintaliitoskomponentteja käyttämällä piirilevyn yleisilme saatiin siistittyä ja samalla sen painoa kevennettyä. Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin ja prototyypin muuttaminen pintaliitostekniikalla toteutetuksi onnistui hyvin. Myös prototyypin valmistettavuus parani ja saavutettiin hyvä soveltuvuus tuotantolinjalle ja erityisesti sarjatuotantoon. Valmistusaika lyheni merkittävästi. Muutostyöllä prototyypille saatiin muodostettua hyvä laatu ja pysyvyys.

LÄHDELUETTELO

- 1 Prosessori 6-7/2003, Piirilevysuunnittelu osa 1, Piirilevy on kriittinen komponentti, Mika Kärnä.
- 2 Prosessori / ES 3/1998, Elektroniikan valmistusmenetelmät vuonna 2005, Jouko Vähäkangas.
- 3 Scottish Electronic Manufacturing Centre, Koulutusmateriaali.
- 4 Kärkkäinen, I. Radiovastaanottimen pintaliitospiirilevyn suunnittelu, insinööriyö 1998 53 s.
- 5 Coombs, CF. Printed Circuits Handbook, 2001 1200 s. ISBN 0071350160.
- 6 Piirilevyn mekaaninen protovalmistus. Luettu 06.2.2004. [WWW-dokumentti]. <http://www.merval.fi/tuotteet/tuote/protolev.htm>
- 7 Rupponen, T. Pintaliitoskomponenttien kytkentöjä, Helsinki: WS Bookwell Oy, 2003 230 s. ISBN 951-0-26511-x.
- 8 Pastanpaino, muistiinpanot, Laitevalmistuksen prosessit ja laitteet, Kajaanin ammattikorkeakoulu, Pekka Juntunen.
- 9 Prosessori / ES 11/2003, Vaihtoehtoiset juotteet kehittyneet, lyijy poistuu liitoksista, Jorma Kivilahti.
- 10 Prosessori 9/2000, Monipuolista ladontavoimaa, Veijo Hänninen. Elektroniikkalaitteen kotelointi, Tuure Ala-Paavola.

11 Aaltojuotto SEHO COMPAC 1025-C käyttöohje.

12 Aaltojuotto. Luettu 10.2.2004. [WWW-dokumentti].
www.ee.lut.fi/sove/Kurssit/TuTe/PDF03/Aaltojuotos.pdf

13 Reflow-uuni Bravo 8105 käyttöohje.

14 Tikkanen, H. PADS piirilevysuunnitteluopas 2, Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 2004 291 s. ISBN 95291-6642-7.

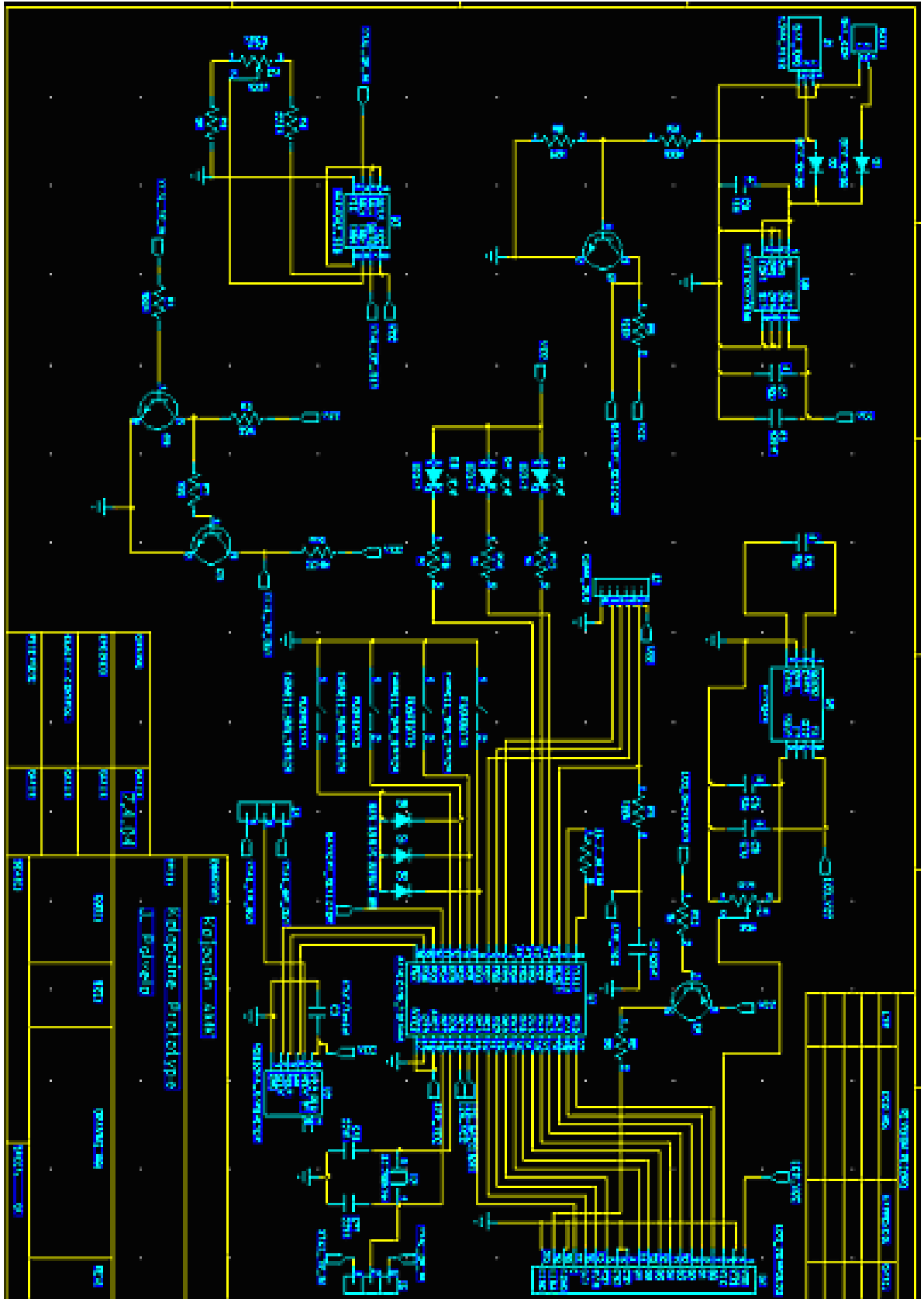
LIITTEET

Liite A KytKentäkaavio

Liite B Komponenttiluettelo

Liite C Komponenttien sijoittelu

Liite D Valotusmaski



Liite B

Item	Kpl	Reference	Name	Package
1	1	J1	PCB SOCKET 1.3MM	
2	3	Q1-3	2N3904	SOT-23
3	1	Q4	2N3906	SOT-23
4	1	U1	ATMEGA16	QFP-44
5	1		BAT-CONN	Piikkirima
6	2	C1-2	CAP 100nF	1206
7	2	C16-17	CAP 22nF	1206
8	1	C3	CAP 47uF/TANTAL	1206
9	1	C6	CAP-ELECT 100nF	1206
10	4	C4-5 C7-8	CAP-ELECT 10uF	
11	1	J2	CONN-SIL6	Piikkirima
12	2	D1-2	DIODE 1N4004	BYV 10-60
13	3	D6-8	DIODE 1N4148	BAS 85
14	4	PB1-4	FARNELL 674-953	SMD
15	2	J3-4	JUMPER 3-PIN	Piikkirima
16	1	U4	LCD CONN-SIL20	
17	3	D3-5	LED	1206
18	1	U5	MAX1044	SO-8
19	1	U3	MAX4042	SO-8
20	1	U6	MAX603CPA	SO-8
21	1	U2	MS5534A	SMD
22	1	R7	100	1206
23	3	R4-5 R11	100K	1206
24	1	R1	180K	1206
25	4	R12-15	1K	1206
26	1	R8	220K	1206
27	1	R3	22K	1206
28	1	R10	30.9K	1206
29	1	R2	56	1206
30	1	R6	68K	1206
31	1	RV1	20k	BOURNS 3314J
32	1	RV2	100K	BOURNS 3314J
33	1	X	X-TAL 32.768KHz	

