



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Simo Ratilainen

Adapteripiirilevyn suunnittelu hissien kutsupaneeliin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

3.11.2020

Tekijä Otsikko	Simo Ratilainen Adapteripiirilevyn suunnittelu hissien korin kutsupaneeliin
Sivumäärä Aika	45 sivua + 2 liitettä 3.11.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	Senior Chief Design Engineer, Toni Toivanen Lehtori, Kristian Junno
<p>Insinööritöiden aiheena oli adapteripiirilevyn suunnittelu KONE Oyj:n tuotekehityksyksikölle. Työn tavoitteena oli suunnitella adapteripiirilevy, jonka avulla pystytään yhdistämään hissien kutsupaneelissa sijaitseva vanha kaiutin- ja mikrofonitoiminto uuden tyyppisen prosessoripiirilevyn kanssa. Suunnittelutyön suurin haaste oli, että adapteripiirilevy ja uuden tyyppinen prosessoripiirilevy täytyi saada mahtumaan vanhojen hissien kutsupaneelien sisään. Uudessa prosessoripiirilevyssä piirilevyyn on vaihdettu uusi liitintyyppi, joka on joidenkin hissien kutsupaneelien rakenteiden kanssa noin 2 mm liian korkea. Tämän takia liittimen tilalle jouduttiin suunnittelemaan adapteripiirilevy, joka on matalampi ja jolla saadaan yhteensopivuus vanhan järjestelmän kanssa.</p> <p>Työ toteutettiin tuotekehitysprojektina vuoden 2020 aikana. Työssä suunniteltiin adapteripiirilevy käyttäen Zuken CR-8000 -ohjelmistoa. Työn aikana luotiin myös tarvittava tuotantodokumentaatio adapteripiirilevyn valmistusta varten ja tutustuttiin piirilevyn suunnitteluun ja valmistukseen liittyviin seikkoihin. Työssä pohditaan myös vaatimustenmäärittelyn tärkeyttä tuotekehitysprojekteissa. Työtä rajattiin siten, että adapteripiirilevyn testaus ei kuulunut projektin aihealueeseen.</p> <p>Tuotekehitysprojektissa päästiin asetettuihin tavoitteisiin. Adapteripiirilevyn suunnittelussa onnistuttiin ja siitä saatiin asetettujen vaatimusten mukainen. Komponenttien asettelussa onnistuttiin ja adapteripiirilevyn koko saatiin mahdollisimman pieneksi. Myös yhteen sopivuus vanhan järjestelmän kanssa saavutettiin. Tuotantodokumentaatio luotiin onnistuneesti ja se tallennettiin KONE Oyj:n tietokantaan. Adapteripiirilevystä valmistettiin myös onnistuneesti 40 kpl:n prototyyppierä Hyvinkäällä sijaitsevan piirilevyvalmistajan kanssa.</p>	
Avainsanat	Piirilevy, Adapteripiirilevy, Hissi, Tuotantodokumentaatio

Author Title	Simo Ratilainen Adapter PCBA Design for Elevator Car Operating Panel
Number of Pages Date	45 pages + 2 appendices 3 November 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation engineering
Professional Major	Automation technology
Instructors	Toni Toivanen, Senior Chief Design Engineer Kristian Junno, Senior Lecturer
<p>The objective of this thesis work was to design an adapter PCBA that can be used to integrate the current speaker and microphone function in the elevator car operating panel with a new type of processor PCBA. The work was carried out for KONE Corporation Research and Development department. The biggest challenge of the design work was that the adapter PCBA and the new processor PCBA had to fit inside the car operating panel of an old elevator systems. In the new processor PCBA, a new connector type has been changed to the circuit board. In some of the old car operating panel structures, the connector is 2 mm too high. Because of this, an adapter PCBA had to be designed to replace the connector. With the adapter PCBA the compatibility with the old systems can be reached.</p> <p>The work was carried out during a product development project in 2020. The adapter PCBA was designed using Zuken CR-8000 software. During the project, all the necessary production documentation for the manufacturing of the adapter PCBA was created. This thesis also considers different aspects related to designing and manufacturing a PCBA. The thesis also considers the importance of requirement management in product development projects. Testing of the adapter PCBA was excluded from this project scope.</p> <p>The product development project goals were achieved. The designing of the adapter PCBA was successfully completed and it met the set requirements. The placement of the components was successfully done and the size of adapter PCBA was minimized. Compatibility with the old car operating panel was also achieved. Production documentation was successfully created and stored in KONE corporation's database. A prototype batch of 40 pieces of the adapter PCBA was successfully manufactured.</p>	
Keywords	PCB, PCBA, Elevator, Production documentation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Piirilevy	2
2.1	Piirilevyn materiaali	2
2.2	Piirilevytyypit	5
2.3	Komponentit	7
3	Tuotantodokumentaatio	8
3.1	Osaluettelo	9
3.2	Kytkenäkaavio	9
3.3	Sijoittelupiirustus	10
3.4	Piirilevypiirustus	10
3.5	3D-malli	10
3.6	Piirilevy spesifikaatio	11
4	Piirilevyn valmistus	12
5	Piirilevyn kalustus	15
5.1	Juotos menetelmät.	17
5.2	Aaltojuotto	18
5.2.1	Juotosaalto	21
5.2.2	Kuljetin	23
5.3	Reflow-juotto	23
5.3.1	Konvektio menetelmä.	25
5.3.2	Infrapunasäteily menetelmä.	26
6	Adapteripiirilevyn suunnittelu	26
6.1	Vaatimusten määrittely	27

6.2	Adapteripiirilevyn komponentit	31
6.3	Suunnittelutyökalu Zuken Cr-8000	32
6.4	Kytkentäkaavion suunnittelu	33
6.5	Sijoittelupiirustuksen suunnittelu	35
6.6	Ympäristötekijät	38
6.6.1	Termiset tekijät.	39
6.6.2	Epäpuhtaudet	40
6.6.3	Iskut ja värinä.	41
7	Yhteenveto	42
	Lähteet	44
	Liitteet	
	Liite 1. Kytkentäkaavio	
	Liite 2. Sijoittelupiirustus	

Lyhenteet

KNSMUL	KONE New Signalization Multi Board. KONE Oyj:n hissien kutsupaneelissa käytettävä kalustettu piirilevy.
VLSI	Very large-scale integration. Prosessi, jossa luodaan mikropiirejä.
TKHJ	Tietokannan hallintajärjestelmä. Ohjelmisto, jonka avulla hallinnoidaan tietokantoja.
HASL	Hot Air Solder Level. Piirilevyn pinnoitusprosessi.
ENIG	Electroless Nickel Immersion Gold. Piirilevyn pinnoitusprosessi.
OSP	Organic Solderability Preservative. Piirilevyn pinnoitusprosessi.
AOI	Automated optical inspection. Piirilevyn automaattinen visuaalinen tarkastus.
DIP	Dual-In-Line Package. Piirilevyn valmistuksessa käytettävä komponenttityyppi.
OEM	Original Equipment Manufacturer. Laitteen alkuperäinen valmistaja.
COP	Car Operating Panel. Hissikorissa sijaitseva kutsupaneeli.
DFR	Design for Reliability. Prosessi, jossa pyritään varmistamaan tuotteen luotettavuus.
DFM	Design for Manufacturability. Prosessi, jossa pyritään varmistamaan tuotteen valmistettavuus.
KSSMUL	KONE Serial Signalization Multi board. KONE Oyj:n hissien kutsupaneelissa käytettävä kalustettu piirilevy.

KNSADB KONE New Signalization Adapter Board. KNSMUL-piirilevyssä käytettävä adapteripiirilevy.

PCBA Printed Circuit Board Assembly. Kalustettu piirilevy.

1 Johdanto

KONE Oyj on yksi maailman johtavista hissejä, liukuportaita ja nosto-ovia valmistavista yrityksistä. Sen toimialaan kuuluu myös hissien, liukuportaiden ja nosto-ovien myynti, suunnittelu, asennus, modernisointi ja huolto. KONEen visio on tarjota laitteiden käyttäjille mahdollisimman hyvä käyttäjäkokemus ja helpottaa ihmisten liikkumista älykkäämissä rakennuksissa. Vuonna 2019 KONEen liikevaihto oli 10 miljardia euroa ja henkilöstömäärä noin 60 000. Yrityksellä on seitsemän tuotantolaitosta ja kahdeksan globaalia tutkimus- ja tuotekehitysyksikköä, jotka sijaitsevat kaikilla päämarkkinoilla. Tämän lisäksi yrityksellä on jakelijoita lähes 80 maassa. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Helsingin Munkkiniemessä ja Konsernihallinnon rakennus Espoon Keilaniemessä. [1.]

Jatkuvasti muuttuvassa maailmassa kilpailu yritysten välillä on kovaa. Yritykset pyrkivät kehittämään tuotteitaan jatkuvasti ja erilaisia sähköisiä laitteita tarvitaan jatkuvasti kehittyvillä markkinoilla. Valmistusta halutaan kehittää jatkuvasti ja uusia toimintoja halutaan tuoda markkinoille kilpailuedun saavuttamiseksi. Myös vanhoja malleja halutaan päivittää vastamaan nykyajan kysyntää. Tavoitteena on suunnitella entistä pienempiä ja tehokkaampia laitteita, jotka ovat samalla edullisempia ja nopeampia valmistaa.

Tämän insinööriyön tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa adapteripiirilevy KONE Oy:n KNSMUL-piirilevyyn. Adapteripiirilevyn avulla pystytään integroimaan hissien vanha kaiutin- ja mikrofoni-toiminto uuden järjestelmän kanssa. Piirilevy suunnitellaan käyttäen Zuken CR-8000 -ohjelmistoa. Työssä luodaan myös tarvittava dokumentaatio uudelle adapteripiirilevyille. Suunnittelutyön keskeisin ongelma on, että uudessa järjestelmässä piirilevyyn on vaihdettu uusi liitintyyppi, joka on joidenkin hissikorin rakenteiden kanssa noin 2 mm liian korkea. Tämän takia liittimen tilalle joudutaan suunnittelemaan adapteripiirilevy, joka on matalampi ja jolla saadaan yhteensopivuus vanhan järjestelmän kanssa. Työssä tutustutaan myös kalustettujen piirilevyjen valmistukseen ja suunnitteluun vaikuttaviin tekijöihin.

2 Piirilevy

Nykyään elämme ajassa, jossa elektroniset tuotteet kuten tietokoneet, matkapuhelimet ja kodinkoneet ovat suurimalle osalle ihmisistä jokapäiväinen hyödyke ja läsnä kaikkialla normaalissa elämässämme. Piirilevyteollisuus kehittyi myös huimaa vauhtia tällä hetkellä ja voidaan olettaa, että seuraavien vuosikymmenien aikana niiden toiminnallisuus, tiheys ja luotettavuus kehittyvät edelleen tiukasti hallittujen kustannustehokkaiden prosessien avulla. Näitä tuotteita kuitenkin yhdistää se, että niiden toiminta perustuu piirilevyissä tapahtuvaan elektroniseen ilmiöön. [2, s. 4.]

Kalustettu piirilevy yhdistää laitteen eri osat levyllä kulkevien sähkövirtojen ja erilaisten laitteen toiminnan kannalta välttämättömien elektronisten komponenttien kanssa. Yhdessä kalustetussa piirilevyssä voi olla muutama yksittäinen komponentti tai jopa tuhansia komponentteja riippuen mihin tarkoitukseen sitä käytetään. [3, s. 1.]

2.1 Piirilevyn materiaali

Piirilevy on yleensä jäykkään lasikuituvahvisteiseen muovilevyyn epoksiliimalla kiinnitetty sähköä johtava kuparifolio, joka koostuu pääsääntöisesti kahdesta osasta, jotka ovat alusta eli substraatti ja painetut johtimet eli kuparijäljet. Alusta tarjoaa rakenteen, joka pitää piirilevykomponentit ja painetut johtimet paikallaan ja tarjoaa sähköeristyksen johtavien osien välille. Piirilevyn alustaa voidaan myös kutsua laminaatiksi, joka valmistetaan komposiiteista. Alusta on yksinkertaistettuna tuote, joka on saatu puristamalla hartsilla kyllästetyt täyteainekerrokset lämmön ja paineen alaisena. Tästä muodostuu ohut levy, joka toimii piirilevyn eristysmateriaalina. [2, s. 255; 4, s. 2.]

Laminaatti voi olla joko jäykkä tai joustava. Laminaatin täyteaineen tarkoitus on taata tarvittava mekaaninen tuki, vakaus ja jäykkyys. Yleisimmät täyteaine materiaalit ovat erilaiset paperit, puuvillakankaat, asbestiliuskat, lasi eri muodoissa, keraamiset materiaalit ja molybdeeni. Mutta yleisin näistä on paperi tai lasikuitu. Paperin ongelma täyteaineena on sen taipumus imeä paljon nestettä. Lasikuitu taas tarjoaa korkean vetolujuuden ja dimensiostabiiliteetin. Se takaa myös korkean vastustuskyvyn lämpötilan vaihtelulle, eikä se ime kosteutta juuri ollenkaan. [2, s. 255.]

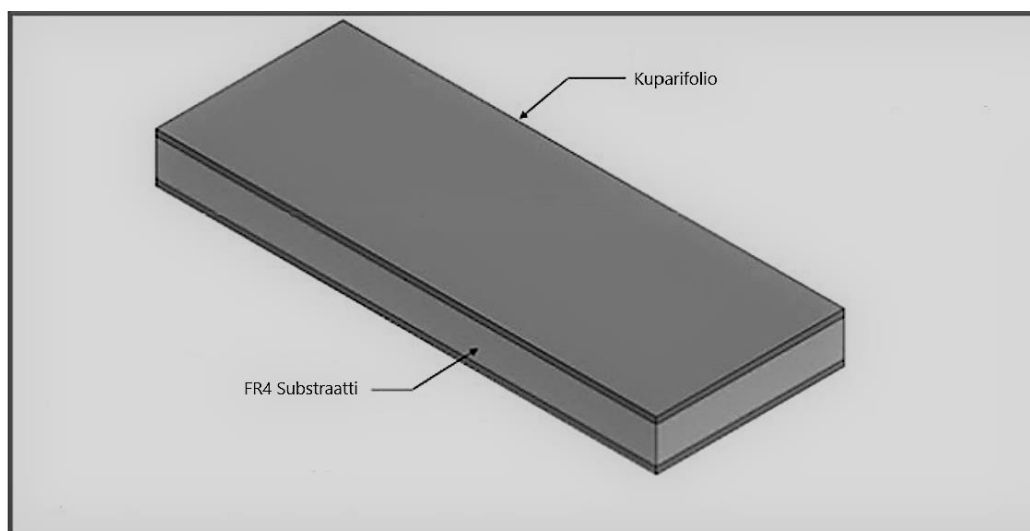
Valitut täyteaineet kyllästetään hartsilla. Yleisimmät käytössä olevat hartsit laminaatin valmistuksessa ovat fenoli, polyesteri, syanaattiesteri, epoksi ja polyamidi. Näistä kaikista yleisimmät ovat fenoli ja epoksi, joita käytetään noin 90 % kaikista valmistetuista laminaateista. Ne ovat enimmäkseen synteettisiä materiaaleja joko kuumassa pehmeniä tai kuumassa kovettuvia, jotka muodostuvat polyeroitumalla. Hartsia valittaessa täytyy ottaa huomioon sen sähköiset, mekaaniset, kemikaaliset ja termiset ominaisuudet. Näiden ominaisuuksien tärkeys vaihtelee riippuen piirilevyn käyttötarkoituksesta. [2, s. 256.]

Nykyajan markkinoilla on tarjolla laaja kirjo kaupallisiin tarkoituksiin valmistettuja kupari-päälysteisiä laminaatteja. Yleisesti laminaateissa pitää olla hyvät sähköiset, mekaaniset ja ympäristölliset ominaisuudet, sekä niiden täytyy täyttää standardien asettamat vaatimukset. Kansallisia ja kansainvälisiä standardoimisliittoja laminaateille ovat muun muassa, Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits (IPC), National Electrical Manufacturers Association (NEMA), International Electrotechnical Commission (IEC) ja American National Standard Institute (ANSI). [2, s. 257.] Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty yleisimpiä käytössä olevia laminaatteja.

Taulukko 1. NEMA-laminaattien perusluokitukset [5, s. 5,7].

NEMA-Luokka	Hartsi	Vahvike	Tulenkestävä
XXXPC	Fenoli	Paperi	Ei
FR-2	Fenoli	Paperi	Kyllä
FR-3	Epoksi	Paperi	Kyllä
FR-4	Epoksi	Lasikuitu	Kyllä
FR-5	Epoksi	Lasikuitu	Kyllä
FR-6	Polyesteri	Akryyli	Kyllä
G-10	Epoksi	Lasikuitu	Ei
CEM-1	Epoksi	Paperi/Lasikuitu	Kyllä
CEM-2	Epoksi	Paperi/Lasikuitu	Ei
CEM-3	Epoksi	Lasikuitu/Akryyli	Kyllä
CEM-4	Epoksi	Lasikuitu/Akryyli	Ei
CRM-5	Polyesteri	Lasikuitu/Akryyli	Kyllä
CRM-6	Polyesteri	Lasikuitu/Akryyli	Ei
CRM-7	Polyesteri	Akryyli	Kyllä
CRM-8	Polyesteri	Akryyli	Ei

Yleisin käytössä oleva laminaatti tyyppi on FR-4 [kuva 1]. Se on tehty kudotusta lasikuitukankaasta, joka on kyllästetty epoksihartsilla tai epoksihartsin sekoituksella. Erinomaiset sähköiset, mekaaniset ja termiset ominaisuudet FR-4-laminaatissa ovat tehneet siitä erinomaisen vaihtoehdon erilaisiin käyttötarkoituksiin. [5, s. 5,7.]



Kuva 1. FR-4-laminaatti.

Piirilevyn sähköä johtava kytkentäkuvioiden voi olla tehty kuparista, nikkelistä, teräksestä tai berylliumkuparista. Näistä yleisin käytössä oleva materiaali on kupari sen hinnan, saatavuuden ja toiminnallisuuden takia. Yleensä hyvin ohut kuparifolio, paksuudeltaan 17,5 µm, 30 µm tai 70 µm liitetään laminaatin yhdelle tai molemmille puolille. [2, s. 257.]

Piirilevyn laadun määrittää suurilta osin kuparifolion ominaisuudet. Tämän takia kuparifolion laatuvaatimukset ovat hyvin vaativat, esimerkiksi kuparifolion resistiivisyys 20° C lämpötilassa ei saa ylittää arvoa 0,1594 Ωg/m². Myös kuparifolion pinnan pitää olla sileä, eikä siinä saa olla reikiä, kuoppia, naarmuja, muita vaurioita tai öljytahroja. Myös värin ja kiillon pitää olla yhtenäisiä ilman merkkejä hapettumisesta tai korroosiosta. [2, s. 258.]

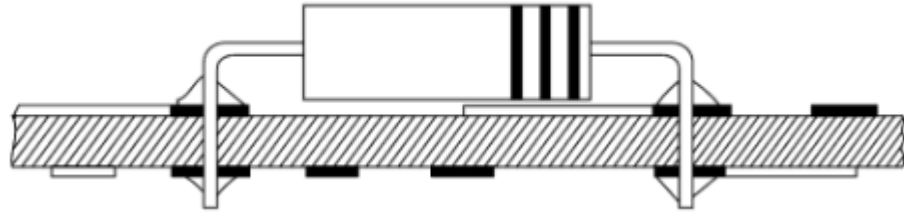
Kuparifolion paksuus on yleensä ilmaistu yksikössä unssia neliöjalkaa kohti (oz./ft²), joka vastaa 3052 grammaa neliösenttimetriä kohti (g/cm²) tai 305,2 grammaa neliömetriä kohti (g/m²) [2, s. 257]. Alla olevassa taulukossa 2 on esitetty kuparifolion yleisimmät paksuudet ja ominaisuudet.

Taulukko 2. Kuparifolion standardipaksuus ja -paino [2, s. 257].

Paksuus	Paino			Resistiivisyys
	Peruspaino		Toleranssi	
	oz./ft ²	g/m ²		MΩ -max
12 μm	3/8	107	±10 %	9.3
18 μm	1/2	153	±10 %	7.0
35 μm	1	305	±10 %	3.5
70 μm	2	610	±10 %	1.8

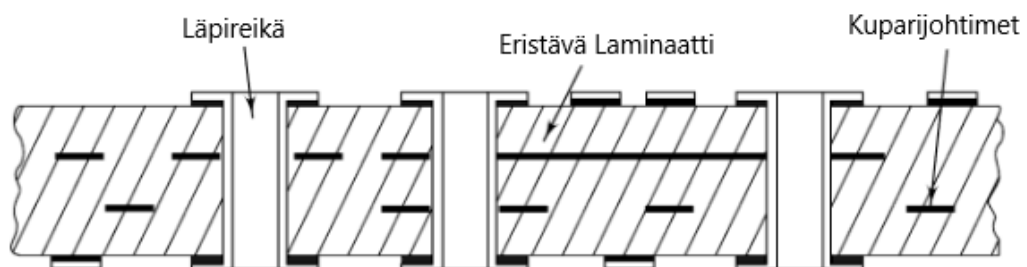
2.2 Piirilevytyypit

Nykypäivän kehittyneet piirilevyt voivat olla myös monikerroksisia. Pääsääntöisesti erilaiset piirilevytyypit voidaan jakaa yksikerroslevyihin, kaksikerroslevyihin ja monikerroslevyihin. Yksikerroslevyissä kuparijohtimet ovat vain piirilevyn yhdellä puolella. Kaksikerroslevyissä kuparijohtimet ovat piirilevyn kummallakin puolella [kuva 2]. Monikerroksisella piirilevyllä tarkoitetaan piirilevyä, jossa piirilevyjä on laminoitu päällekkäin useita kerroksia. Näissä tapauksissa jokaisessa kerroksessa on erilainen kytkentäkuvio, jotka sitten yhdistetään toisiinsa läpikuparoitujen läpivientien kautta. Yksi- ja kaksikerroksiset piirilevyt ovat nykyaikaisessa elektroniikkavalmistuksessa jo harvinaisia. Näitä käytetään yleensä vain yksinkertaisten piirilevyn suunnittelussa ja/tai kun valmistuskulut halutaan pitää mahdollisimman alhaisina. [6.]



Kuva 2. Kaksikerroslevy [2, s. 5].

Se että kuparijohtimet ovat levyn molemmin puolin kuten kaksikerroslevyissä mahdollistaa sen, että komponentit voidaan asettaa tiheämmin piirilevylle ja kuparijohtimien pinta-ala saadaan isommaksi verrattuna yksikerrosisiin piirilevyihin. Monikerroslevyissä läpivienti teknologian kehittyminen on mahdollistanut kuparijohtimien valmistamisen eri tasoihin. Näin pystytään pienentämään piirilevyn tilavaatimuksia ja lisäämään sähkökomponenttien tiheyttä piirilevyllä. Modernit VLSI ja moninapaiset piirilevykokoonpanot ovat mahdollistaneet vielä suuremman sähkökomponenttien tiheyden piirilevyllä. Monikerroslevyjä käytetään yleensä tapauksissa, joissa tarvittavien yhteyksien tiheys on liian suuri kaksikerroslevyille tai kun halutaan kontrolloida tarkasti esimerkiksi johtimien impedanssia tai maadoituksia. Kuvassa 3 on havainnollistettu monikerroslevyistä nelikerroslevy. [2, s. 6-8.]



Kuva 3. Nelikerroslevy [2, s. 8].

2.3 Komponentit

Elektronisella komponentilla tarkoitetaan laitetta, joka käsittelee sähköä. Komponentteja on eri kokoisia, -muotoisia ja niillä pystytään suorittamaan erilaisia sähköisiä funktiota riippuen siitä, mihin niitä on tarkoitus käyttää. Sen vuoksi sähköisissä laitteistoissa on käytössä laaja kirjo erilaisia elektronisia komponentteja. Yleisesti komponentit voidaan jakaa kahteen pääryhmään: aktiiviset ja passiiviset komponentit. [2, s. 25.]

Passiivisella komponentilla tarkoitetaan laitetta, joka ei tuota virranvahvistusta virtapiiriin tai systeemiin. Sillä ei ole säätötoimintaa, eikä se tarvitse mitään muuta tuloa kuin signaalin, jonka avulla se suorittaa funktionsa. Koska passiivikomponenttien vahvistus on aina vähemmän kuin yksi, ne eivät voi oskilloida tai vahvistaa signaalia. Passiivikomponenttien kombinaatio voi moninkertaistaa signaalin arvoilla, jotka ovat pienempiä kuin yksi. Ne voivat myös siirtää signaalin vaiheen, hylätä signaalin, jos ei koostu oikeasta taajuudesta ja kontrolloida monimutkaisia virtapiirejä. Passiivisia komponentteja ovat vastukset, kondensaattorit ja induktorit. [2, s. 26.]

Aktiivisia komponentteja ovat laitteet, jotka pystyvät kontrolloimaan jännitettä tai virtaa ja pystyvät luomaan kytkentätoiminnon virtapiirissä. Ne pystyvät vahvistamaan tai tulkitsemaan signaalia. Aktiivisia komponentteja ovat diodit, transistorit ja mikropiirit. Yleensä ne ovat puolijohdekomponentteja. [2, s. 26.]

Komponentit voivat olla myös erillisiä tai mikropiirejä. Erilliskomponentissa on vain yksi piirielementti: passiivinen tai aktiivinen, esimerkiksi vastus, jonka tarkoitus on rajoittaa sen läpi kulkevan virran määrää. Mikropiiri taas on useiden toisiinsa kytkettyjen erilliskomponenttien yhdistelmä, joka suorittaa useita funktiota samanaikaisesti. Mikroprosessori, jota käytetään monissa eri sovelluksissa, on tyypillinen esimerkki mikropiiristä. [2, s. 26.]

Komponentit luokitellaan myös kahteen ryhmään riippuen siitä, millä tavalla ne kiinnitetään piirilevyyn. Läpiladottavalla komponentilla tarkoitetaan komponenttia, jonka johtimet sijoitetaan piirilevyssä olevien kiinnitysreikien läpi [kuva 4]. Kun taas pintaliitoskomponentit on suunniteltu niin, että ne voidaan liittää suoraan piirilevyn pintaan [kuva 4].



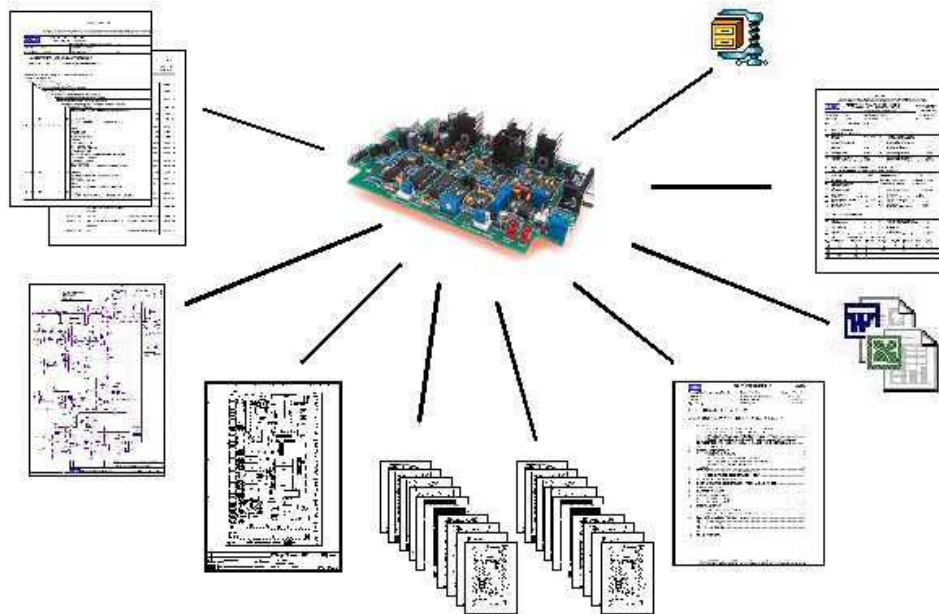
Kuva 4. Läpiladottavat komponentit ja pintaliitoskomponentit [7].

Erilliskomponentteja valmistetaan yleensä kahdella erimallisella johtimella. Jos komponentti on valmistettu aksiaaliliitosjohtimilla, se tarkoittaa, että komponentin molemmat johtimet työntyvät ulos komponentista kuin kädet. Nämä johtimet pitää taivuttaa alaspäin, että ne pystytään sijoittamaan piirilevyn kiinnitysreikien läpi. Radiaalijohtimilla valmistetuissa komponenteissa johtimet osoittavat alaspäin komponentin pohjasta kuten jalat. Mikropiireissä taas on suuri määrä johtimia, jotka asetetaan joko yksittäisiin riveihin tai sitten rinnakkaisiin riveihin. Nykyaikana on myös käytössä mikroprosessorit, joissa on käytössä nastamatriisikotelo. Nastamatriisikotelossa on useita rivejä johtimia, jotka osoittavat alaspäin komponentin pohjasta. Jotkut komponentit on taas polarisoitu. Tällaisissa komponenteissa johtimet on merkattu positiiviseksi tai negatiiviseksi riippuen komponentin napaisuudesta. Yleisimpiä polarisoituja komponentteja ovat kondensaattorit ja diodit. [2, s. 26-28.]

Tämän työn kannalta tärkein piirilevylle sijoitettava komponentti on liitin. Liittimen tehtävä piirilevyllä on tarjota reitti tulo- ja lähtösignaaleille, jännitteille ja maadoituksille. Sen avulla pystytään myös liittämään järjestelmän muut osat piirilevyn johdoilla. Yleensä piirilevylle sijoitettu liitin on urosmallinen, joka sitten pystytään liittämään naarasmalliseen vastakappaleeseen. Liitin voi olla läpiladottava- tai pintaliitoskomponentti. [2, s. 101.]

3 Tuotantodokumentaatio

Tuotantodokumentaation luonti on olennainen osa piirilevysuunnittelua ja piirilevyjen valmistus prosessia [kuva 5]. Yleisesti yrityksillä, jotka suunnittelevat ja valmistavat piirilevyjä, on omat vaatimukset dokumentaation osalta, mutta tiettyjä piirustuksia pidetään välttämättöminä piirilevyn valmistuksen kannalta. Alla on selitetty tarkemmin työn kannalta tärkeitä dokumentteja.



Kuva 5. Tuotantodokumentaatio.

3.1 Osaluettelo

Parts list eli osaluettelo on dokumentti, jossa luetellaan piirilevyn kokoonpanon muodostavat komponentit ja osat. Eri piirilevy valmistajilla osaluettelon rakenne voi poiketa heidän vaatimuksien mukaan, mutta yleisesti ottaen osaluettelo sisältää ainakin seuraavat tiedot. Komponentin viitetunnus esim. R1, C1, K1, J1. Valmistajan tuotenumeron tai osanumeron, komponentin kuvauksen ja lukumäärän. [2, s. 152.]

3.2 Kytcentäkaavio

Schematic diagram eli kytcentäkaavio on dokumentti, josta selviää piirilevyssä käytettävät sähköiset komponentit ja niiden väliset sähköiset kytkennät piirrosmerkkien ja niiden välillä kulkevien viivojen välillä. Kytcentäkaavion tarkoitus on auttaa suunnittelijaa ymmärtämään laitteen toiminta komponenttitasolla. Dokumenttia luodessa pitää huomioida komponenttien määrittely, komponenttien välinen vuorovaikutus, fyysiset kotelot, liittimien napojen järjestys sekä erikoisvaatimukset komponentin sijoittelupiirustusta varten.

KytKentäkaaviota tehdessä on myös tärkeää määrittää netlist eli kuvaus elektronisen piirin liitettävyydestä. Netlist on luettelo piirin elektronisista komponenteista ja solmuista, joihin ne on kytketty. KytKentäkaavion alustava suunnittelu aloitetaan yleensä ensin paperilla ja suoritetaan loppuun käyttäen tietokoneavusteisia ohjelmia, kuten esimerkiksi Zuken CR-8000 -ohjelmistoa. Hyvin luotu kytKentäkaaviodokumentti sisältää kaiken tarvittavan olennaisen tiedon piirilevystä. Siitä pystyy ymmärtämään piirin toiminnan sekä siinä on kytKentöjä kuvaava netlist ja oikein merkityt liittimet. [2, s. 10.]

3.3 Sijoittelupiirustus

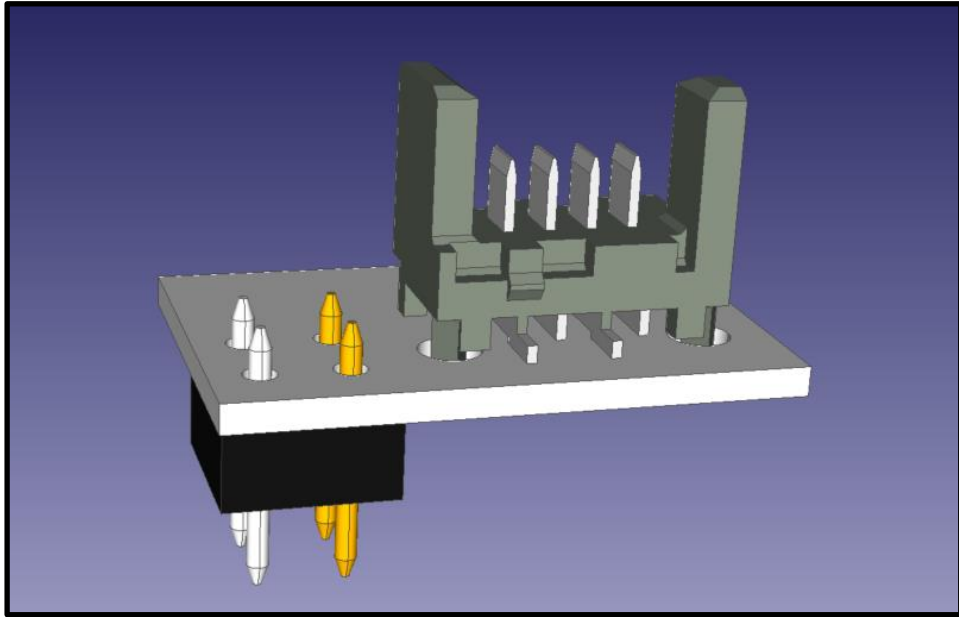
Layout drawing eli sijoittelupiirros on piirustus, joka kuvaa piirilevyn fyysisen koon sekä elektronisten ja mekaanisten komponenttien sijainnin piirilevyn ylä- ja alapuolella. Piirroksista selviää myös kiinnitysreikien paikat. Sijoittelupiirros ja kytKentäkaavio liittyvät vahvasti toisiinsa, koska sähköiset komponentit ja kytKentäpisteet tuodaan sijoittelupiirrokseen kytKentäkaaviosta. Tämän jälkeen piirilevy-suunnittelija sijoittaa komponentit ja reitittää sähköiset kytKennät tavoitteenaan saavuttaa paras mahdollinen tulos ottaen huomioon piirilevyn koon ja valmistettavuuden. [2, s. 142.]

3.4 Piirilevypiirustus

Artwork master eli piirilevypiirustus sisältää kuvat piirilevyn jokaisesta kerroksesta. Näissä kuvissa esitetään eri kerroksissa olevat kuparivedot sekä kuvat silkipainoista ja juotteenestoista. Piirilevypiirustuksessa esitetään myös piirilevyn valmistukseen tarvittava poratiedosto. Poratiedostosta ilmenevät reikien sijainti ja niiden koko. [2, s. 193.]

3.5 3D-malli

3D-malli on tiedosto, jonka avulla on mahdollista havainnoida kolmiulotteista laitetta tai sen osaa virtuaalisessa ympäristössä. Kuvassa 6 on havainnollistettu KNSADP-adaptiipiirilevyn 3D-malli.



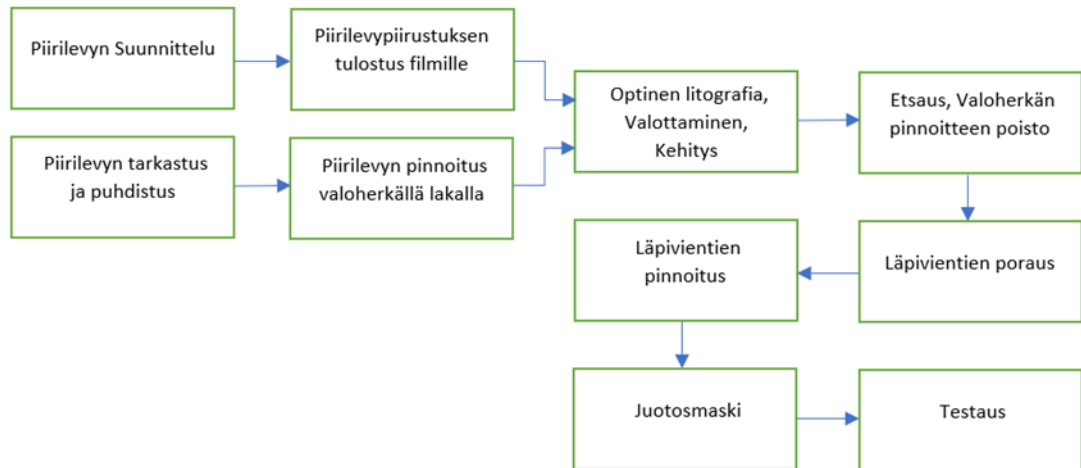
Kuva 6. KNSADP-adapteripiirilevyn 3D-malli

3.6 Piirilevyspesifikaatio

PCB specification eli piirilevyspesifikaatio on dokumentti, jossa kerrotaan piirilevyn valmistajalle piirilevyn tiedot, esimerkiksi materiaali, pinnoitus, hyväksyntäluokitukset, silkipainon tarve jne.

4 Piirilevyn valmistus

Tässä luvussa käydään läpi yksinkertaistetusti yksikerroslevyn valmistukseen ja suunnitteluun vaikuttavia seikkoja ja menetelmiä [kuva 7].



Kuva 7. Yksikerroslevyn valmistusvaiheet [2, s. 11].

Ensin luodaan kytkentäkaaviodokumentti, josta johdetaan sijoittelupiiirustus sekä piirilevypiiirustus. Tämän jälkeen luodaan myös yrityksen tarpeiden mukainen muu tuotantodokumentaatio. Valmiista dokumentaatiosta luodaan tarvittavat CAD-tiedostot piirilevyn valmistusta varten.

Yleisin piirilevyissä käytettävä raakamateriaali on kuparipäällysteinen laminaattilevy, jonka toisella tai molemmilla puolilla on yleensä 35 mikrometrin paksuinen kuparifolio. Yleisin käytettävä eristemateriaali laminaattilevyssä on lasikuitu. Laminaattilevystä leikataan tarvittavan kokoinen pala, joka on yleensä suunniteltua piirilevyä hiukan suurempi. [8.]

Ennen kuin piirilevyn valmistus voidaan aloittaa, se pitää puhdistaa. Piirilevyn raakamateriaalin kuparifolion pinnassa voi olla epäpuhtauksia, kuten orgaanisia materiaaleja (öljyä tai rasvaa), partikkeleita (pölyä), oxideja tai sulfideja. Piirilevyn voi puhdistaa käsin tai käyttäen apuna koneellista pesua.

Seuraava työvaihe piirilevyn valmistuksessa on valottaminen, jossa aikaisemmin suunniteltu piirilevypiirustus siirretään piirilevyn kuparipäällysteeseen. Yksi tapa tehdä tämä on printata piirilevypiirustus läpinäkyvälle valokuvafilmille ja hoitaa valottaminen lami-naattilevylle pimiössä käyttäen punaista valoa. Vaihtoehtoinen parempi tapa suorittaa valottaminen on käyttää fotoresistiivistä filmiä, joka on herkkä ultraviolettivalolle. Piirilevypiirustus printataan fotoresistiiviselle filmille, jonka jälkeen se siirretään valoherkällä lakalla pinnoitetun piirilevyn kuparipäällysteeseen käyttäen valotuslaitetta. Valotuslaite kuumentaa filmin noin 110 °C asteen lämpöiseksi ja painaa kuvion piirilevyn kuparipäällysteeseen, jonka jälkeen ultravioletti valo osuu tulostetun filmin vapaille alueille. Valoherkkä lakka polymerisoituu eli kovettuu valottuneilta osilta. Tämän jälkeen levy kehitetään siirtämällä se natriumhydroksidiliuokseen, joka poistaa ultraviolettivalolla valotetut alueet kuparin pinnalla olevasta lakasta. Kun kehitys on suoritettu, piirilevy syövytetään. Vanhin ja edelleen yleisin tapa syövytykselle on käyttää ferrikloridi liuosta. Ferrikloridi liuos syövyttää piirilevyn pinnasta ylimääräisen kuparin pois niistä kohdista, joissa lakkaa ei ole. [2, s. 12-13.]

Tämän jälkeen piirilevyn reiät porataan joko manuaalisesti tai käyttämällä tietokoneohjattuja laitteita. Piirilevyn poraus on yksi tärkeimmistä mekaanisista prosesseista piirilevyn valmistuksen kannalta. Porauksella pyritään saavuttamaan kaksi tavoitetta, joita ovat komponenttien johtimien asettaminen piirilevylle tarkasti, rakenteellisella eheydellä ja tarve muodostaa sähköinen yhteys piirilevyn eri kerrosten välille. Teollisuuden mas-satuotannossa yleensä hyödynnetään numeerisesti ohjattuja porakoneita, joissa on useita poranteriä. Reiät porataan käyttäen volframikarbidiporanteriä, koska materiaalina tämä kestää hyvin kulumista ja lämpöä, kun porataan kovia materiaaleja. Korkealaatuisesti toteutetulla poraus prosessilla pystytään saavuttamaan se, että reiät voidaan päällystää kuparilla ilman, että niitä käsitellään ennen päällystämistä. Käsitelyllä tarkoitetaan prosesseja, kuten purseenpoisto ja eristesyövytys. [2, s. 391-392.]

Seuraavaksi piirilevyn pinta pinnoitetaan juotteenestopinnoitteella eli juotosmaskilla. Piirilevyn kuparifolio hapettuu helposti, kun se on yhteydessä ilmaan tai veteen, joten se pinnoitetaan tai käsitellään suoja-aineella. Pinnoituksen tarkoitus on suojella piirilevyn kuparijohtimia ja kontaktipintoja lialta sekä hapettumiselta, piirilevyn valmistuksen ja kalustuksen välisenä aikana. Pinnoituksella pystytään varmistamaan, että piirilevyä kalustaessa juotosprosessi pystytään suorittamaan ongelmitta. Yleisimpiä tapoja pinnoittaa

piirilevyt ovat HASL LF, ENIG ja OSP. Näissä prosesseissa piirilevyn pintaan ruiskutetaan suoja-aine riippuen, mitä prosessia käytetään. HASL LF -prosessissa kuparifolion pintaan ruiskutetaan lyijytön kestotinaseos, kun taas ENIG -prosessissa piirilevyn pinta päällystetään kemiallisella immersio-kulta- / nikkeli-immersio-kultapinnoitteella. OSP -prosessissa piirilevyt päällystetään upottamalla se tyypipitoiseen orgaaniseen aineeseen, jossa se kiinnittyy piirilevyn pinnassa olevaan kuparipinnoitteeseen suojaamaan sitä. [2, s. 13-14.]

Viimeisenä työvaiheena piirilevyt testataan. Nykyaikana pyritään jatkuvasti kehittämään piirilevyjä, joihin voidaan kalustaa tiheämmin komponentteja. Tämän seurauksena piirilevyjen johtimien ja läpivientien määrä on lisääntynyt huomattavasti. Vanhemmissa piirilevyissä oli keskimäärin noin 400 reikää, joista noin 25 % olivat läpivientejä eri kerrosten välillä ja keskimäärin 200 verkostoa. Kun komponenttien tiheys piirilevyllä on kasvanut, nykyaikainen tyypillinen piirilevy sisältää noin 2000 reikää, joista 40 % on läpivientejä eri kerrosten välillä ja keskimäärin 600 verkostoa. On huomattu, että näissä tiheästi kalustetuissa piirilevyissä on korkeampi vikatiheys, jopa 20 prosenttia. Tämän takia on tärkeää testata piirilevyt ennen kalustusta. Toimintahäiriö piirilevyssä voi tulla erittäin kalliiksi myöhemmässä vaiheessa varsinkin, jos kyseessä on tiheään kalustettu monikerroslevy. [2, s. 573.]

Yleisin tapa testata piirilevyt on suorittaa AOI eli automaattinen optinen tarkastus sekä sähköinen testi. Automaattinen optinen tarkastus suoritetaan käyttäen konenäkösovellusta, jossa kamera vertaa optisesti piirilevyn pintaa referenssi-piirilevyyn. Tällä tavalla pystytään tarkastamaan kosmeettisia puutteita kuten johdinkuviot sekä reikien sijainnit. Sähköisessä testissä piirilevyille suoritetaan jatkuvuus- ja eristysvastusmittaukset, joissa testataan piirilevyn sähköisten johtimien potentiaalisia valmistusvirheitä.

5 Piirilevyn kalustus

Piirilevyn ja komponenttien välinen sidos muodostetaan juottamalla, jossa kaksi tai useampi metallikappale liitetään yhteen metalliseoksella, jonka sulamislämpötila on matalampi kuin kappaleiden, joita ollaan liittämässä yhteen. Näin juotettavien kappaleiden pintoihin saadaan muodostettua sähköä johtava molekyyლისidos ilman että niitä tarvitsee sulattaa. Nykypäivän suurissa moderneissa piirilevyjä valmistavissa tuotantolaitoksissa juotosprosessi suoritetaan yleensä käyttäen hyväksi massajuotostekniikoita ja laitteita. Mutta käsin juottaminen on edelleen yleistä pienemmissä tuotantolaitoksissa ja harrastetoiminnassa. Käsin juotetaan myös, jos juotokset ovat viallisia ja niitä tarvitsee parantella ja korjata. Myös huoltoteknikot, jotka työskentelevät elektronisten laitteiden parissa joutuvat turvautumaan käsin juottamiseen. [2, s. 466; s. 477.] Yleisimmin käytettävä juoteaine on lyijytön tina/kupariseos, joka sisältää yleensä 99 % tinaa ja 1 % kuparia.

Juotosprosessin sujuvuuden helpottamiseksi käytetään juoksute ainetta, jota kutsutaan myös fluksiaineeksi. Juoksutetta tarvitaan mikroskooppisen oksidikalvon poistamiseen metallipinnalta, jota aiotaan juottaa. Se myös muodostaa suojakalvon, joka estää juotospinnan uudelleenhapettumisen, kun juotospinta kuumennetaan pisteeseen, jossa juoteaine sulaa. Fluksiaine levitetään piirilevyn pinnalle ennen juotosprosessia ja sen aikana. [2, s. 462.]

Perinteisesti piirilevykokoontimet kalustetaan liittämällä komponentit läpivientien kautta piirilevyyn. Tällaisia komponentteja kutsutaan läpiladottaviksi komponenteiksi. Läpiladottavalla komponentilla tarkoitetaan komponenttia, jonka johdin läpäisee piirilevyn ja juotos tehdään piirilevyn vastakkaiselle puolelle. Mikroelektronikan edistyminen on kuitenkin johtanut pintaliitostekniikoiden kehittymiseen, kuten VLSI-sirupakettien, jotka sisältävät suuren määrän juotosalustoja eli padejä pienellä pinta-alalla. [2, s. 481.]

Pintaliitoskomponenttien kokoonpanossa piirilevyssä ei tarvitse olla läpivientireikiä, vaan komponentit juotetaan piirilevyn pinnalla olevaan sähköä johtavaan lyijy-tina-, hopea-alustaan tai kullattuun kuparialustaan. Pintaliitosprosessissa sähköä johtavaan alustaan levitetään juotospasta, joka on sekoitus juotejauhetta ja fluksia. Kun pintaliitoskomponentit ovat koottu piirilevyille ne sulatusjuotetaan, joko infrapuna- tai konvektiouunissa piirilevyn pintaan. Vaikka pintaliitoskomponenttien käyttö piirilevykokoontimissa on

yleistynyt huomattavasti, silti edelleen piirilevykokoonpanot sisältävät läpivienti- ja pintaliitoskomponentteja, koska kaikkia komponentteja ei ole saatavilla pintaliitettävänä tai läpivientikomponentilla pystyttään saavuttamaan parempi mekaaninen kestävyys. [2, s. 489.]

Piirilevykokoonpano valmistetaan joko manuaalisesti tai käyttämällä tuotantokoneita, jotka tekevät prosessista automatisoidun, nopean ja luotettavan. Valmistusprosessi täytyy kuitenkin valita harkiten, koska piirilevy kokoonpanot sisältävät suuren määrän erilaisia komponentteja ja niiden konfiguraatiota, jotta valmistus olisi taloudellisesti kannattavaa ja luotettavaa. Tyypillinen piirilevy kokoonpano sisältää useita integroitua piirejä, vastuksia, kondensaattoreita, transistoreita, liittimiä jne. kiinnitettynä sen pintaan. Piirilevyn kalustusprosessi sisältää yleisesti seuraavat vaiheet: [2, s. 481.]

- komponenttien keräys osaluettelossa annettujen määritelmien mukaisesti
- komponenttien esikäsitteleminen
- piirilevyn puhdistus puhdistusaineella tai vedellä
- piirilevyn ja komponenttien mittasuhteiden tarkastus
- komponenttien sijoittaminen oikeisiin paikkoihin tuotantolinjastolla
- komponenttien sijoittaminen
- komponenttien juotos, joko käsin tai käyttäen massajuotoskonetta
- ylimääräisen juoksuutteen poisto
- erikoiskomponenttien asettaminen, jotka voivat olla painavia tai jotka eivät kestä korkeita juotos lämpötiloja tai puhdistusta
- tarkastus ja testaus

- tarvittavat korjaukset ja parannukset juotoksiin
- suojaopinnoitteen levittäminen ja piirilevyn varastointi.

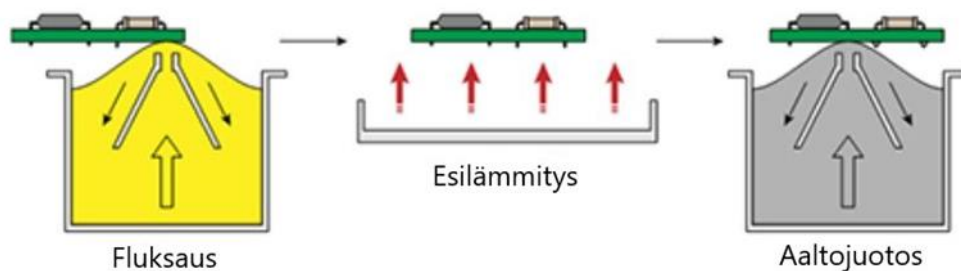
5.1 Juotosmenetelmät

Nykyaikaisissa piirilevykokoonpanoissa yleisimmät juotosmenetelmät ovat aalto-, reflow- ja käsin juotto, joista aalto- ja reflow-juotto soveltuvat automaattiseen massatuotantoon. Termiä massajuottaminen käytetään kuvamaan kaikkia juotostapoja, joissa koko piirilevy lämmitetään tiettyyn pisteeseen ja piirilevyn juotetaan samanaikaisesti useita komponentteja. Näin massajuotosmenetelmällä pystytään nopeuttamaan piirilevykokoonpanojen valmistusprosessia. Syy massajuotosmenetelmien käytölle ei ole ainoastaan suuri tuotantoteho, joka vaaditaan, kun valmistetaan suuria tuotantomääriä, mutta myös tuotteen luotettavuus, joka sisältää valtavan määrän hyvin pieniä juotosliitoksia. Tällaisia juotosliitoksia ei ole välttämättä mahdollista toteuttaa käsin juottamalla. [2, s. 504.]

Oikean juotosmenetelmän valinta on olennaisen tärkeää piirilevyn valmistusprosessissa. Kun juotosmenetelmä valitaan oikein, pystytään saavuttamaan hyvä sähköinen kontakti sekä estämään oikosulkujen syntyminen. Myös teknisten laitteistojen toimivuus on täysin riippuvainen siitä, että juotosliitokset on tehty laadukkaasti. Erilaisissa ympäristöissä laitteisto altistuu jatkuvasti muuttuviin olosuhteisiin, kuten lämpötilan muutoksiin, kosteuteen ja tärinään. Yksikin virheellisesti tehty juotos voi aiheuttaa koko järjestelmän tai sen osien hajoamisen. Myös juotosmenetelmissä käytettävä teknologia kehittyy jatkuvasti. Syy tähän on jatkuva elektronisten laitteiden kehitys, jossa pyritään jatkuvasti pienentämään komponenttien tiheyttä piirilevyllä sekä niiden kokoa. Kehittyvissä juotosmenetelmissä yritetään myös löytää keinoja, joilla ympäristöä pystytään rasittamaan mahdollisimman vähän. [2, s. 454.]

5.2 Aaltojuotto

Vakiomenetelmä läpiladottavien komponenttien massajuotokseen piirilevylle on aaltojuotos, jossa kalustetun piirilevyn juotettava puoli yhtäjaksoisesti fluksataan, esilämmitetään, upotetaan sulaan juotteeseen ja jäädytetään [kuva 8]. Aaltojuotoslaitteet ja prosessit ovat pitkälle kehittyneet, ja sitä voi myös käyttää pintaliitoskomponenttien massajuottamiseen. Tämän takia aaltojuotosmenetelmän huomattava etu on se, että sillä on mahdollista massajuottaa samanaikaisesti pintaliitoskomponentteja sekä läpiladottavia komponentteja. [2, s. 505.]



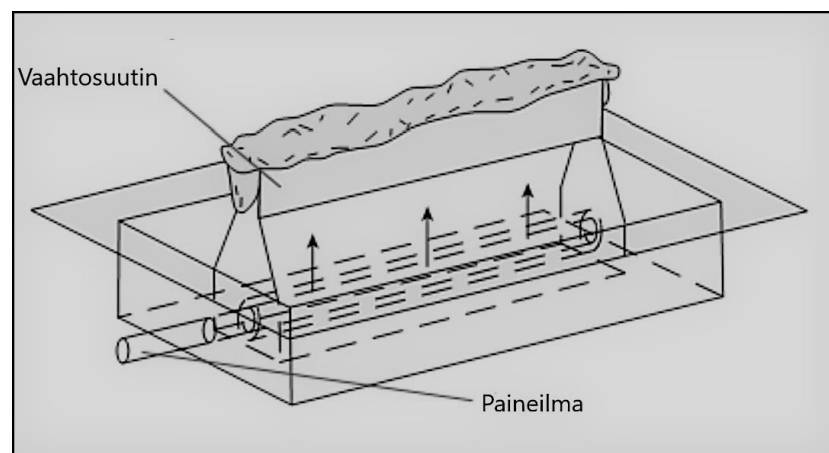
Kuva 8. Aaltojuotoksen vaiheet [7].

Aaltojuottoyksikön olennaiset elementit ovat kuljetinjärjestelmä, joka siirtää piirilevyt jatkuvalla syötöllä tai vaiheittain lastauspisteestä ensin kohti fluksausasemaa, jonka jälkeen tapahtuu esilämmitys. Tästä siirrytään aaltojuotokseen ja piirilevyn jäähdytykseen, viimeisenä piirilevy poistetaan kuljetinjärjestelmästä. [2, s. 506.]

Piirilevyn fluksaus aaltojuotosyksikössä on prosessi, jossa piirilevyn alle levitetään fluksiaine poistamaan epäpuhtauksia ja oksidikerroksia juotoskohdan pinnasta. Fluksiaine myös estää oksidikerroksen muodostumisen juotoslämpötilassa. Kun fluksiaine koskettaa suojatonta piirilevyn metallipintaa kuumennetussa järjestelmässä, se poistaa epäpuhtaudet ja oksidikerrokset kemiallisesti kuljettamalla ne pois sulan juotteen mukana. Fluksiaine on aina nestemäisessä muodossa, jotta sillä pystytään peittämään kaikki juotoskohdat nopeasti ja tasaisesti. On olemassa monia tapoja levittää fluksiaine piirilevyyn. Yleisimmät niistä ovat vaahtofluksaus, aaltofluksaus ja ruiskufuksaus. Riippumatta

siitä millä tavalla fluksiaine levitetään, sen tarkoitus on synnyttää yhteinen paksuudeltaan 5-20 μm :n kalvo fluksiainetta piirilevyn pohjaan. [2, s. 507.]

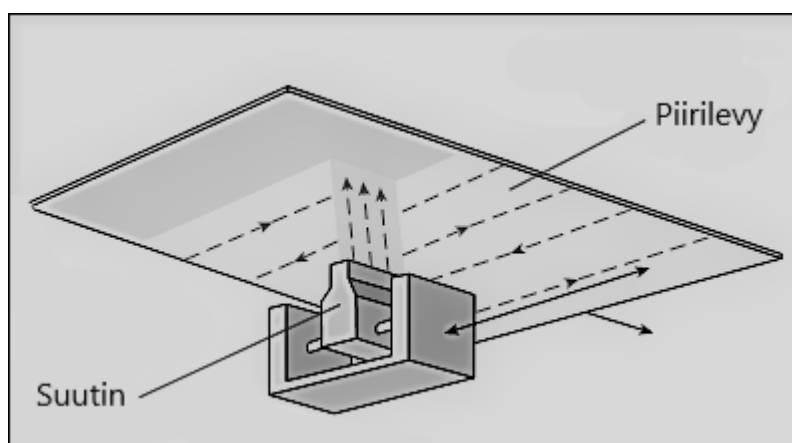
Vahtofluksaus on menetelmä, jossa nestemäinen fluksiaine levitetään suuresta säiliöstä piirilevyn pohjaan ilmastuslaitteen avulla [kuva 9]. Ilmastuslaite synnyttää pyörteisen vaahton, jonka läpi kalustetun piirilevyn alapuoli kuljetetaan kuljettimella. Kuivattu paineilma kulkee huokoisen kiven tai putken läpi, joka on upotettu fluksiaine säiliöön, mikä muodostaa vaahtokerroksen leveään suulakkeen yläosaan. Kun matalapaineinen ilma puhalletaan huokoisen putken läpi, se muodostaa pienirakenteisia kuplia, jotka ohjataan ylöspäin ohjauslevyjen avulla. Pienirakenteisten kuplien puhkeaminen vaahtokerroksen pinnalla auttaa läpiladottavien komponenttien läpireikien seinämien pinnoituksessa. Suulakkeen päähän muodostuvan vaahtokerroksen pinnan korkeus on rajallinen, mutta yleensä noin 15 mm. Jos halutaan saavuttaa korkeampi vaahtokerroksen pinta, koska joidenkin komponenttien johtimet voivat olla pidempiä, voidaan järjestelmään asentaa harjat, joiden avulla voidaan muodostaa tuettu vaahtokerros. Fluksiaineen viskositeetillä on tärkeä rooli, kun kontrolloidaan vaahtokerroksen korkeutta. Jos viskositeetti on liian matala, fluksiaine ei välttämättä vaahtoudu ollenkaan. Jos taas viskositeetti on liian korkea, kuplat eivät puhkea oikealla tavalla. Tässä tapauksessa vaahtokerros voi nousta hallitsemattoman korkeaksi ja pursuta yli. Vahtofluksauksen etu on, että se on menetelmänä nopea ja riippumaton kuljettimen nopeudesta. [2, s. 507.]



Kuva 9. Vahtofluksaus [7].

Aaltofluksaus on menetelmä, jossa fluksiaine levitetään piirilevyn pintaan kuljettamalla piirilevy paikallaan olevan fluksiaineesta muodostetun aallonharjan läpi. Menetelmässä pumppu työntää fluksiaineen leveän suulakkeen läpi, jonka seurauksena nestemäinen fluksiaine läikkyy yli ja muodostaa aallon. Aaltofluksauksessa käytettävää järjestelmää on erittäin helppo käyttää ja huoltaa, mutta yleensä johtuen liiallisesta nestepaineesta fluksiainetta levittyy piirilevyn pintaan liikaa. Tämän takia on äärimmäisen tärkeää kontrolloida pumpun juoksupyörää. Liiallinen fluksiaine poistetaan piirilevystä ”ilmaveitsellä”, jossa ilmavirta työntää ylimääräisen fluksiaineen pois välittömästi sen levityksen jälkeen. Tarkasti säädetty heikko ilmavirta ohjataan lievässä taaksepäin suuntautuvassa kulmassa piirilevyn läpi ilman, että se työntää pois kaiken fluksiaineen. Ilmaveitsi myös levittää fluksiaineen paremmin piirilevyn pintaan ja työntää ainetta piirilevyn kolohin. Jos ylimääräistä fluksiainetta ei poistettaisi, se voisi valua esilämmittimeen ja aiheuttaa tulipalon. [2, s. 508.]

Ruiskufluksauksessa kalustetun piirilevyn alapuolelle sumutetaan fluksiainetta joko edestakaisin liikkuvalla tai kiinteällä sumutussuuttimella [kuva 10]. Molemmissa tavoissa sumutinta ohjataan tietokoneohjelman avulla. Tällä tavalla fluksiaine pystytään suihkuttamaan melko tarkasti piirilevyn pohjaan leveys- ja pituussuunnassa. Tietokone havaitsee piirilevyn nopeuden käyttäen apunaan kuituoptiikkaa tai induktiivista anturia, tämän tiedon avulla se pystyy arvioimaan tarvittavan peittävyden fluksiaineelle. [2, s. 508.]



Kuva 10. Ruiskufluksaus [7].

Fluksauksen jälkeen piirilevy kokoonpano esilämmitetään. Esilämmityksessä piirilevykokoonpano kuumennetaan hitaasti vähän alle laminaatin lasisiirtymälämpötilan. Yleisimmät tavat toteuttaa esilämmitys ovat kiertävän kuuman ilman konvektiolla, lämmitys infrapunalamppujen säteilyllä, vastuslämmityksellä tai näiden yhdistelmällä. Esilämmitys vaiheessa piirilevykokoonpanon lämpötila nostetaan 80-120 °C. Fluksiaineen yleisin kantoaine on isopropanoli, jonka kiehumispiste on 82.4 °C. Tämän takia fluksin kantoaineen haihtuminen on hyvin pikainen esilämmityksen aikana. Tärkeitä syitä esilämmitykselle ovat: [2, s. 509.]

- Fluksiaineen aktivointi. Esilämmityksen avulla fluksiaine nousee piirilevyn läpi-reikiä pitkin ylöspäin ja näin levittyy myös piirilevyn yläpuolelle.
- Lyhyempi juotosaika, joka pystytään saavuttamaan, kun piirilevykokoonpano kuumennetaan lähelle juotoslämpötilaa. Ilman esilämmitystä juotokseen tarvittava lämpötila tulisi vain aaltojuotosaallosta, joka kulkisi silloin hitaammin.
- Lämpöshokki, joka on mahdollinen, jos piirilevyn lämpötila nostetaan hyvin nopeasti huoneenlämpötilasta juotoslämpötilaan. Äärimmäinen lämpötilan muutos piirilevykokoonpanossa voi vahingoittaa lämpöherkkiä komponentteja tai jopa taivuttaa piirilevyn.
- Fluksiaineen ja kosteuden höyrystyminen. Ylimääräinen fluksiaine ja kosteus voi aiheuttaa ilmarakkuloita piirilevyn pintaan.

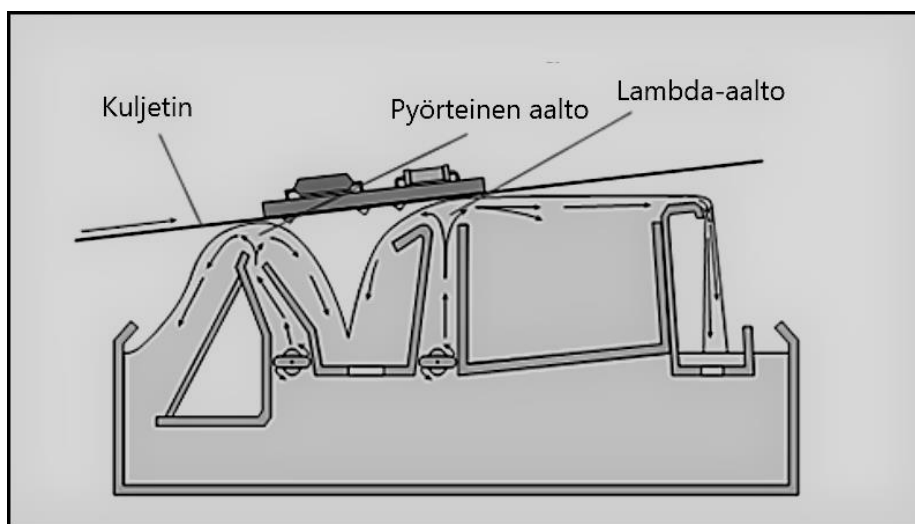
5.2.1 Juotosaalto

Juotosaallolla on kaksi perimmäistä tarkoitusta. Ensinnäkin se välittää ja siirtää lämpöä komponenttien johtimiin, piirilevyn liitäntäalueelle ja läpireikiin. Toiseksi se kuljettaa juotetta, joka muodostaa mekaanisen ja sähköisen liitoksen piirilevyn ja komponenttien välille. Jotta nämä asiat pystytään saavuttamaan aaltojuotoslaitteisto tuottaa aallon suuttimen välityksellä ja juotepataan sijoitetun pumpun avulla. Kalustettu piirilevy kuljetetaan sulasta juoteaineesta muodostetun aallon harjan läpi. [2, s. 510.]

Laitteisto käyttää sähköisesti ohjattua pumppua. Tällä tavalla pystytään estämään pumppun käyminen, kun juotetta jähmetetään tai kun se ole vielä täysin sulaa. Aaltojuotoslaitteistoja löytyy yhdellä tai kahdella suuttimella. Jos käytössä on laitteisto, joka sisältää yhden suuttimen juotosaallon lämpötila on asetettu 250-257 °C:n välille. Jos käytössä on kaksi suutinta, lämpötila asetetaan 245-255 °C välille. [2, s. 510.]

Kun aaltojuotetaan yksikerroslevyjä, komponenttien johtimet juotetaan liitântäalueeseen levyn alapuolelta. Tapauksissa, joissa juotetaan kaksikerros- tai monikerroslevyjä, juoteaine nousee komponenttien läpäreikiä pitkin kapillaari ilmiön ja hydrostaattisen paineen avulla. Näin juoteaine pystyy saavuttamaan juotettavat liitântäalueet piirilevyn yläpinnalla. Komponenttien johtimet taivutetaan hieman kalustuksen jälkeen. Tällä tavalla pystytään estämään, että ne eivät ”kellu” pois piirilevyn pinnasta. [2, s. 510.]

Monenlaisia aallonmuotoja on käytetty eri valmistajien laitteissa. Yksinkertaisimmat laitteet muodostavat aallon, jossa juoteaine valuu tasapuolisesti suuttimen molemmilta puolilta. Tästä on kuitenkin kehitetty parempia versioita, joissa suuttimeen on lisätty lisälevyt. Lisälevyjen avulla pystytään muodostamaan parempi profiili aallolle eli lambda-aalto, jolla pystytään vähentämään siltojen syntymistä, parantamaan juotosjälkien laatua ja suurentamaan juotosnopeutta. Suurin ongelma laitteissa, jotka muodostavat yhden aallon on, että kun juotetaan pintaliitoskomponentteja piirilevyn alapintaan, komponentin runko estää juotetta pääsemästä komponentin taakse. Tämä ongelma on ratkaistu käyttämällä laitetta kahdella suuttimella [kuva 11]. Näin pystytään muodostamaan kaksi juotosaaltoa, joista edessä oleva on pyörteinen ja takana oleva on tasainen. Edessä oleva pyörteinen aalto muodostetaan suihkumekanismilla, joka mahdollistaa juotteen leviämisen komponenttien väliin sekä täyden kostutuksen. Takana tuleva tasainen aalto on saman muotoinen kuin lambda-aalto. [2, s. 510.]



Kuva 11. Aaltojuotos kahdella suuttimella [7].

5.2.2 Kuljetin

Kuljetinjärjestelmällä on tärkeä rooli aaltojuotoslaitteistossa. Sillä kuljetetaan piirilevy kokoonpanot koko järjestelmän eri vaiheiden läpi. Kuljettimella kontrolloidaan esilämmityksen aikaa ja lämpötilaa sekä piirilevyn uintiaikaa. Yleisimmät kuljetintyytit aaltojuotoslaitteistossa ovat: [2, s. 511.]

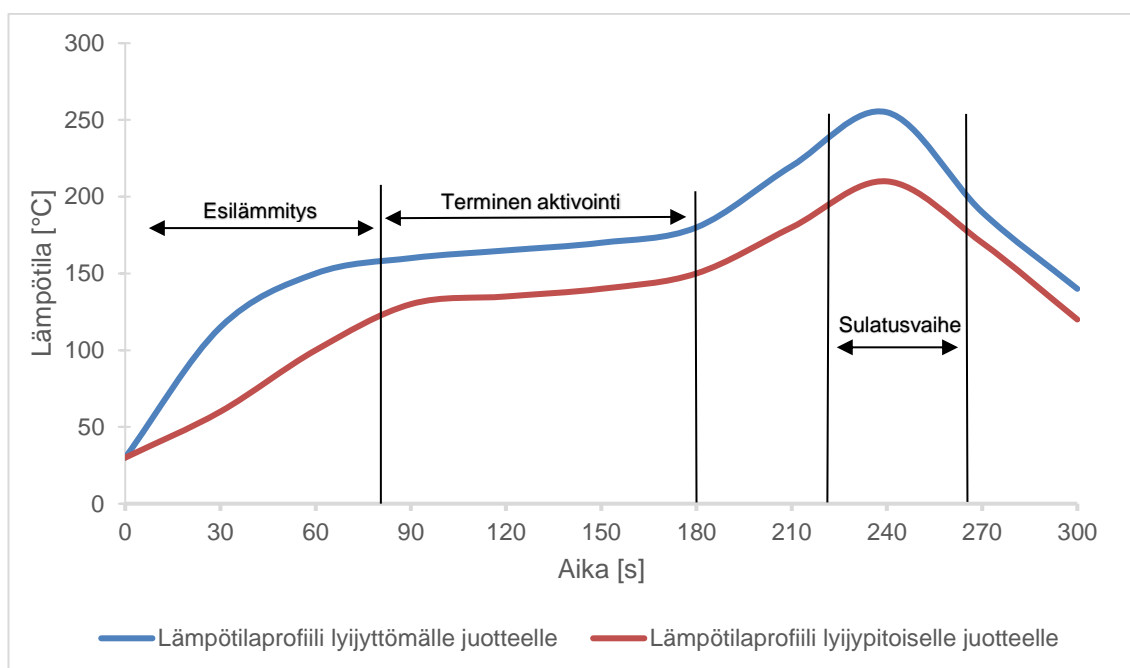
- palettikuljetin
- sormikuljetin.

Kriittisimmät säädöt kuljetinjärjestelmälle ovat kiskon/sormien leveys ja rinnakkaisuus, kuljettimen nopeus, kiskojen kulma verrattuna juotosaaltoon sekä tasainen ja tärinätön kuljetus. Käytössä on myös laitteistoja, joissa on enemmän kuin yksi kuljetin. Tällä tavalla pystytään säätämään fluksauksen, esilämmityksen ja juotosprosessin nopeutta. [2, s. 512.]

5.3 Reflow-juotto

Reflow-juottaminen tai sulatusjuottaminen on menetelmä, jossa juotosliitos luodaan uudelleensulattamalla aikaisemmin lisätty juotospasta ilman, että juotosprosessissa lisätään enempää juotetta. Juotospasta on tahmea seos, joka sisältää fluksiainetta ja pieniä

juotoshiukkasia. Juotospasta levitetään piirilevynpintaan ennen komponenttien ladon-
 taa. Yleisimmät menetelmät suorittaa sulatusjuottaminen ovat infrapunasäteilyn avulla
 tai pakkokonvektiolla. Mutta näiden kahden yhdistelmä on suositeltu tapa suorittaa
 juotosprosessi. Noin 60 % lämmönsiirrosta tapahtuu kuumien kaasujen konvektiolla ja
 40 % infrapunasäteilyllä tai kuumenevien paneelien ansiosta. Kuumennusprosessin täy-
 tyy olla tarkasti säädettävissä. Jos piirilevykokoonpano kuumennetaan liian nopeasti tai
 liian korkeaan lämpötilaan, on riskinä, että piirilevyn laminaatti tai sähköiset komponentit
 vahingoittuvat. Toisaalta jos piirilevyä lämmitetään liian vähän, ei pystytä saavuttamaan
 kunnollisia juotosliitoksia. Lämpötilan mittaamista koko sulatusjuottamislinjaston jokai-
 sella asemalla ajan suhteen kutsutaan lämpöprofiiliksi [kuva 12]. Jokaisella uunilla ja
 piirilevykokoonpanolla on uniikki ja täsmällinen terminen profiili. Useimmiten lämpötila-
 profiililla on viisi vaihetta juotteen eutektisen pisteen ollessa 179 °C. [2, s. 513.]



Kuva 12. Lämpötilaprofiilit sulatusjuottamisessa [7].

Esilämmityksen tarkoitus on aktivoida fluksiaine juotospastassa, estää piirilevyn lämpö-
 shokki sekä höyrystää kosteus ja haihtuvat aineet piirilevyn pinnasta. Esilämmitys sisäl-
 tää myös lämpöprofiilin kolme ensimmäistä vaihetta, jotka ovat: [2, s. 513.]

- Ensimmäisessä vaiheessa piirilevy kokoonpano kuumennetaan hitaasti ympäris-
 tön lämpötilasta noin 80-120 °C enintään 2 °C per sekunti.

- Toisessa vaiheessa lämpötila nostetaan piirilevyn lasisiirtymälämpötilaan, joka on FR4-tyypin-laminaatille 135-145 °C.
- Kolmannessa vaiheessa lämpötila nostetaan hyvin hitaasta, enintään 0,5 °C per sekunti aina 155 °C.

Sulatusvaiheessa piirilevylle levitetty juotospasta sulatetaan ja kostutus tapahtuu. Tavalla, jolla lämmönsiirto toteutetaan, lämpötilalla ja kuljettimen nopeudella on tärkeä osuus sulatusvaiheessa, kun pyritään saavuttamaan oikea molekyylien välinen sidos. Sulatusvaihe sisältää lämpöprofiilin neljännen vaiheen, joka on: [2, s. 513.]

- Neljännessä vaiheessa lämpötila nostetaan tasaisesti 215-235 °C.

Viimeinen vaihe sulatusjuottamisessa on jäähdytys, jossa piirilevyn juoteaine kovettuu ja piirilevykokoonpanon lämpötila laskee hitaasti kohti ympäristön lämpötilaa. Myös komponentit ovat jäähdytyksen jälkeen mekaanisesti ja sähköisesti liitetty piirilevyyn. Jäähdytysvaihe sisältää lämpöprofiilin viimeisen eli viidennen vaiheen, joka on: [2, s. 513.]

- Viidennessä vaiheessa piirilevy jäähdytetään melko nopeasti. Jäähdytysnopeus ei saisi kuitenkaan olla nopeampi kuin 5 °C per sekunti.

5.3.1 Konvektio-menetelmä

Konvektio- eli kiertoilmajuotoskoneessa ilma tai typpikaasu kuumennetaan sähköllä toimivalla kuumennuslaitteella. Kuumennettu kaasu ohjataan suuttimen läpi piirilevy kokoonpanon kohtaan, jossa sulatusjuottaminen on tarkoitus toteuttaa. Kaasun lämpötila saavuttaa 150-170 °C. Kaasun virtausta kontrolloidaan suuttimella, jonka halkaisija on vähemmän kuin 2,5 mm. Typpikaasua käytettäessä juotosten hapettuminen vähenee, kun taas ilma pyrkii lisäämään sitä. Kuumailmajuotoskone voidaan myös käyttää kuumen ilman ja infrapunasäteilyn kombinaatiota. Tällaisessa laitteessa infrapunasäteilijöitä käytetään ilman kuumentamiseen, jonka jälkeen kuumennettu ilma siirretään juotettaville

pinoille suuttimen kautta. Taloudellinen energiankäyttö on myös huomioitu kiertoilma-juotuskoneissa kierrättämällä merkittävä osa ilmasta takaisin. Jos ilmavirtausta ei ole säädetty oikein, riskinä on, että puhallusvoima voi aiheuttaa komponenttien siirtymisen piirilevyllä. [2, s. 514.]

5.3.2 Infrapunasäteilymenetelmä

Kun sulatusjuotos toteutetaan säteilyllä, säteilyenergiaa sisältävät säteet kuumentavat kaikki pinnat, jotka absorboivat ne. Absorptiokerroin on riippuvainen säteilyn aallonpituudesta kuten myös materiaalista, väristä ja materiaalin pinnan ominaisuuksista. Yleisimmät käytössä olevat lähteet infrapunasäteilylle ovat volframiputki, nikromiputki ja erilaiset säteilypaneelit. Myös uunin sisäiset osat ja kuumennuksesta erittyvät kaasut kuumenevat säteilyn takia. Yhdessä suoran säteilyn kanssa nämä muodostavat uunin lämmitysmekanismi. [2, s. 514.]

6 Adapteripiirilevyn suunnittelu

Adapteripiirilevyn suunnitteluun liittyy tiettyjä haasteita. Piirilevy täytyy suunnitella mahdollisimman pieneksi, että se mahtuu sille tarkoitettuun tilaan. Tässä työssä oli erityisen tärkeää huomioida vanhojen hissimallien kutsupaneelien koko. Syy adapteripiirilevyn suunnittelulle on, että sillä on mahdollista korvata vanhan tyyppin KSSMUL-piirilevy uudella KNSMUL-piirilevyllä. Korvattavuuden ansiosta vanhojen KSSMUL-piirilevyjen tuotanto pystytään lopettamaan. Vanhan tyyppin KSSMUL-piirilevyjä käytetään KONE Oyj:n KSS-tuoteperheen signalisaatoratkaisuissa. Hisseissä signalisaatiolla tarkoitetaan yleensä hissien kutsu- ja indikaattoriratkaisuja ja niihin liittyviä lisälaitteita.

Piirilevyn valmistus alkaa aina vaatimustenmäärittelyllä ja suunnittelutyöllä, jossa luodaan tarvittava dokumentaatio piirilevyn valmistukseen. Piirilevyn suunnittelussa pyritään saavuttamaan yhteensopivuus piirilevyn ja laitteen muiden sähköisten osien kanssa. Jotta näihin tavoitteisiin päästäisiin, on kehitetty erilaisia tapoja suunnitella piirilevyjä. Näihin vaikuttaa piirilevyn raakamateriaali, johtimien tyyppi, johtimien tasojen määrä, piirilevyn jäykkyys jne. Tämän takia voidaan olettaa, että piirilevysuunnittelijalla

on asianmukainen tietämys näiden erilaisten variaatioiden vaikutuksesta valmiin piirilevyn hintaan, komponenttien sijoitukseen, kuparijohtimien tiheyteen ja toiminnalliseen suorituskykyyn. Mikään valmis tuote ei ole koskaan parempi kuin sen alkuperäinen suunniteltu malli tai materiaali, mistä se on tehty. [2, s. 108.]

Suunnittelu ja asettelu täytyy suorittaa laajasti koko järjestelmän näkökulmasta, joka sisältää paitsi piirilevyn, myös jokaisen komponentin viimeisessä muodossaan. Suunnittelussa ja asettelussa täytyy myös huomioida mahdolliset komponenttien ja koko systeemin osien väliset suhteet ja vuorovaikutukset. [2, s. 108.]

Piirilevyn suunnitteluun vaikuttavat tekniset vaatimukset voidaan jakaa neljään luokaan, joita ovat mekaaniset, sähköiset, toiminnalliset ja ympäristölliset. Suunnittelussa huomioidtavat mekaaniset vaatimukset ovat koko, muoto ja paino, sekä komponenttien sijainti ja niiden kiinnitys/jalustat, mitoitusoleranssi, suojaus ja merkinnät. Sähköisiä suunnitteluvaatimuksia ovat piirin toiminnallisuus ja johtimien jakautuminen, komponenttien valinta huomioiden niiden sähköinen luokitus, koko ja kestävyys sekä sisäiset ja ulkoiset liitännät. Toiminnallisia suunnitteluvaatimuksia ovat käyttövarmuus, asennettavuus, huollettavuus ja esteettömyys. Ympäristölliset suunnitteluvaatimukset ottavat huomioon tekijät kuten mekaanisen iskun tai värinän, lämpötilan muutokset, suolasuihkeet, suojaus sienikasvustolta ja laitteen toiminta avaruudessa tai veden alla. [2, s. 109.]

Kaikki mainitut tekijät eivät välttämättä vaikuta kaikkiin piirilevytyyppeihin, mutta huolellisella suunnittelulla, oikein valituilla komponenteilla ja valmistustekniikoilla on mahdollista optimoida yllä mainitut vaatimukset. Nämä tulisi kuitenkin huomioida aina piirilevysuunnittelussa, kun suunnitellaan monikerrospiirilevyjä. [2, s. 109.]

Suunnittelutyö on toteutettu perustuen KONE Oyj:n elektroniikkatuotteiden suunnitteluohjeisiin ja vaatimuksiin.

6.1 Vaatimusten määrittely

Koska tuotteet ovat päivä päivältä monimutkaisempia, ne usein epäonnistuvat huonosti suunnitellun vaatimustenmäärittelyn vuoksi. Yritys, joka yleensä käyttää jonkinlaista perusasiakirjaa uuden tuotteen luomiseen tarvittaville vaatimuksille, ei "näe" kokonaisuutta

tuotekehitysprosessissa eikä sen henkilökunta aina ymmärrä täysin, mitä se rakentaa ja miksi. Oikein toteutetulla vaatimustenhallinnalla koko tiimi voi työskennellä saumattomasti yhteen, koska kaikki ovat tietoisia tavoitteista, palautteista ja päätöksistä. Tämä mahdollistaa, että tuote valmistuu ajoissa, budjetissa ja vastaa sille asetettuja kriteerejä. [9.]

Vaatus määrättelee, mitä aiotaan luoda; se yksilöi mitä tuotteen täytyy tehdä, miltä sen pitäisi näyttää ja se kuvaa tuotteen toiminnallisuutta ja arvoa. Luonnollisesti vaatimukset vaihtelevat monimutkaisuudessaan. Ne voivat olla karkeita ideoita, jotka on luonnosteltu luonnosviikoihin tai jäseneltyjä shall-vaatimuksia. Ne voivat olla tekstiä, yksityiskohtaisia mallistoja tai malleja, ja ne voivat olla osa hierarkiaa, jossa korkeatasoiset vaatimukset on jaoteltu alajärjestelmiin. Ne voivat myös olla yksityiskohtaisia eritelmiä, jotka sisältävät joukon toiminnallisia vaatimuksia ja kuvaavat tuotteen käyttäytymistä tai sen komponentteja. Lyhyesti sanottuna ne ovat tietoa, jotka antavat parhaan informaation insinöörielle siitä, mitä pitää rakentaa, ja laadunvarmistusjohtajalle, mitä testata. [9.]

Prosessissa voi olla monta eri ihmistä määrittelemässä vaatimuksia. Sidosryhmä voi pyytää ominaisuutta, joka kertoo, miten tuote antaa arvion ongelman ratkaisemiseksi. Suunnittelija voi määritellä vaatimuksen, joka perustuu siihen, miltä lopputuote näyttää tai toimii käyttökelpoisuuden tai käyttöliittymän näkökulmasta. Liiketoiminnan analyytikko voi luoda järjestelmävaatimuksen, joka noudattaa tiettyjä teknisiä tai organisatorisia rajoitteita. [9.]

Nykypäivänä pitkälle kehitetyt tuotteet ja ohjelmistosovellukset vaativat usein satoja tai tuhansia vaatimuksia projektin tai julkaisun laajuuden määrittelemiseksi. Työntekijöiden on voitava tutustua, tehdä yhteistyötä, päivittää ja testata jokainen vaatimus loppuun asti, koska vaatimukset muuttuvat luonnostaan ja kehittyvät ajan myötä kehitysprosessin aikana. Heidän on myös ymmärrettävä neljä vaatimustenhallinnan perustaa. [9.]

1. Hyvä vaatimus

Hyvän vaatimuksen tulisi olla arvokas ja toimiva. Sen pitäisi tarjota reitti ongelmanratkaisuun ja kaikkien ryhmän jäsenten tulisi ymmärtää, mitä se tarkoittaa. Hyvän vaatimuksen on oltava tiivis ja täsmällinen, ja sen tulisi vastata kysymyseen "Mitä tarvitsemme?" eikä "Miten me voimme täyttää tarpeen?" Tarkkojen

vaatimusten avulla sidosryhmät voivat ymmärtää osansa suunnitelmasta. Jos heillä ei ole tätä tietämystä ja jos vaatimukset ovat epäselviä tai epämääräisiä, lopputuote voi olla viallinen tai epäonnistunut. [9.]

2. Yhteistyö

On vaikea saada yritys hyväksymään vaatimukset, etenkin suurissa hankkeissa, joissa on paljon sidosryhmiä. Käytännössä ei ole välttämätöntä päästä yksimielisyyteen kompromissin avulla. Tiimityö on avainasemassa hyvän vaatimuksen luomisessa. Yhteistyöryhmät pyrkivät varmistamaan, että kaikilla on osuus projektissa ja mahdollisuus antaa palautetta. Kun hankkeen tavoitteet on ymmärretty ja niihin on sitouduttu, tiimin jäsenet tukevat toistensa päätöksiä. Kun kehittäjät, testaajat tai muut sidosryhmät tuntevat, että ovat ulkopuolisia projektin viestinnässä, ihmiset turhautuvat ja hankkeet viivästyvät. [9.]

3. Jäljitettävyys ja muutosten hallinta

Vaatimusten jäljitettävyys on tapa pitää kaikki kärryllä. Siinä organisoidaan, dokumentoidaan ja seurataan kaikkia vaatimuksia ensimmäisestä vaatimusajatuksista, vaatimuksen testaukseen asti. [9.]

Yritysten tulisi pystyä jäljittämään jokainen vaatimus takaisin alkuperäiseen tavoitteeseen, johon vaatimuksella pyrittiin. Jäljittämällä vaatimuksia yritykset voivat tunnistaa heijastusvaikutusten muutokset ja tarkistaa, ovatko he täyttäneet vaatimuksen asettamat asiat ja onko vaatimukset testattu oikein. Jäljitettävyyden avulla ja hallinnoimalla muutoksia tehokkaasti johtajat voivat ennakoida ongelmia ja varmistaa jatkuvan laadun. [9.]

Jäljitettävyys varmistaa myös, että tuote täyttää kaikkien eri sidosryhmien asettamat tärkeät vaatimukset. Vaatimusten jäljitettävyys takaa, että kaikki tiimin jäsenet pysyvät yhteydessä toisiinsa. Hallitsemalla muutoksia hyvin, yritys voi välttää projektin laajuuden vähittäisen lipsumisen, suunnittelemattomat muutokset, joita ilmenee silloin, kun vaatimuksia ei ole selkeästi talletettu, ymmärretty ja vä-

litetty eteenpäin. Hyvän vaatimuksen etu on selkeä käsitys tuotteesta ja sen laajuudesta. Tämä johtaa parempaan kehityssuunnitelmaan ja budjettiin, joka estää viivästyksiä ja kustannusten ylittymistä. [9.]

4. Laadunvarmistus

Kun vaatimukset luodaan ensimmäisellä kerralla oikein, se tarkoittaa parempaa laatua, nopeampia kehitysjaksoja ja korkeampaa asiakastyytyväisyyttä tuotteen kanssa. Tiukat, erityisvaatimukset voivat auttaa yrityksiä havaitsemaan ja ratkaisemaan ongelmat aiemmin, ennen kuin niistä on tullut paljon kalliimpia. [9.]

Tutkimukset ovat osoittaneet, että projektiryhmät voivat poistaa 50-80 prosenttia projektin puutteista hallinnoimalla tehokkaasti vaatimuksia. Borland Softwaren mukaan se voi maksaa jopa 100 kertaa enemmän korjata virhe myöhemmin kehitysprosessissa, kun se on jo koodattu kuin silloin, kun se on vielä kirjallisessa muodossa. [9.]

Integroimalla vaatimustenhallinta laadunvarmistusprosessiin yritykset voivat parantaa tiimin tehokkuutta ja välttää prosessien muokkaamisen. Carnegie Mellon Software Engineering Institutun mukaan 60-80 prosenttia ohjelmistokehityksen kustannuksista on prosessin muokkaamista. Toisin sanoen kehitystiimit tuhlaavat suurimman osan budjetistaan ponnisteluihin, jotka olisi voinut tehdä ensimmäisellä kerralla oikein. [9.]

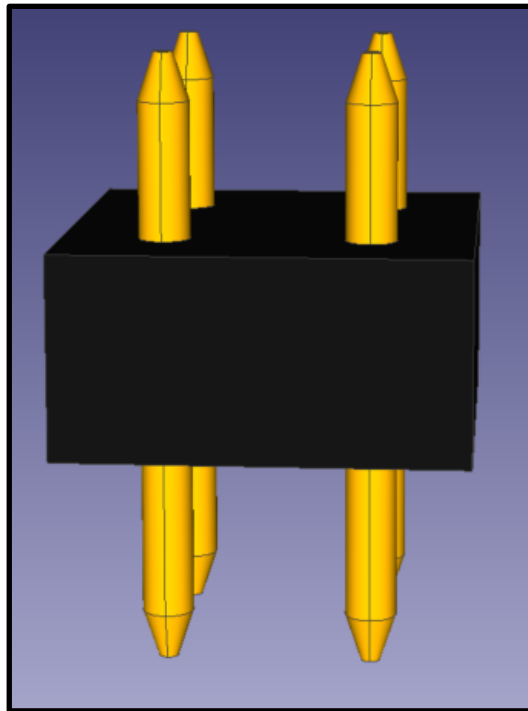
Adapteripiirilevyn suunnittelutyö aloitetaan määrittämällä sille tekniset vaatimukset. Alla on mainittu KNSADB-piirilevyn osalta tärkeitä teknisiä vaatimuksia:

- KNSADB-piirilevyn kokonaiskorkeus, kun se on liitetty KNSMUL-piirilevyyn, saa olla maksimissa 11 mm.
- KNSADB-piirilevy juotetaan J1-liittimeen KNSMUL-piirilevyssä.

- KSNADB-piirilevy ei saa olla KNSMUL-piirilevyn komponenttien J9, L106, L2 ja J2 päällä.
- KNSADB-piirilevyn J1-liittimen pitää olla läpiladottava liitin.
- KNSADB-piirilevyn J2-liittimen pitää olla yhteensopiva KSS-tuoteperheen kaiutin- ja mikrofonijärjestelmän kanssa.

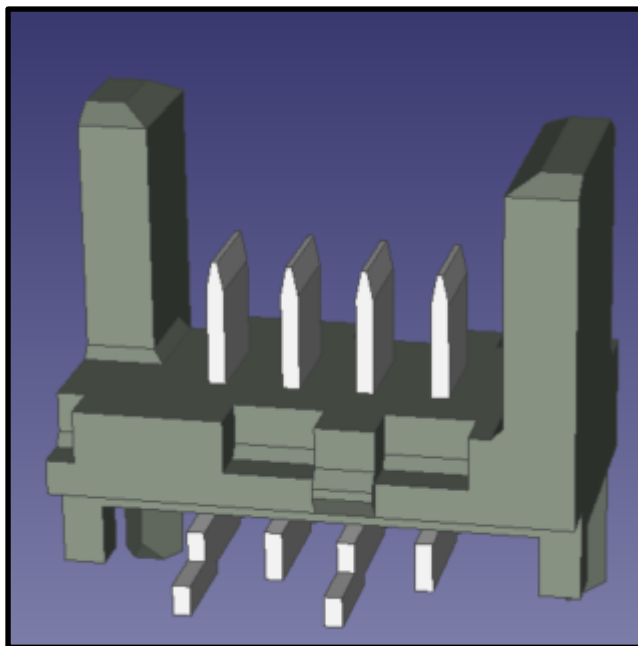
6.2 Adapteripiirilevyn komponentit

Adapteripiirilevyllä on kaksi komponenttia, joista molemmat ovat liittimiä. J1-liittimeksi valittiin läpiladottava liitin sen mekaanisen kestävyyden takia. Liittimen malli on 2X2PIN-2.54MM-180 [kuva 13]. Tämän liittimen osalta oli myös tärkeää huomioida sen kokonaiskorkeus rajallisen tilan vuoksi.



Kuva 13. J1-Läpiladottava liitin.

J2-liittimeksi valikoitui pintaliitoskomponentti vanhan KSSMUL-piirilevyn kaiutin- ja mikrofonijärjestelmän liittimen mukaan. Näin ollen pystyttiin saavuttamaan yhteensopivuuden uuden piirilevyn ja vanhan järjestelmän välille. Työssä päätettiin käyttää pintaliitoskomponenttia, koska tällä tavalla pystyttiin vetämään piirilevyn reitityksen vain yhdellä tasolla. Näin piirilevy pystyttiin suunnittelemaan pienemmäksi, koska piirilevyllä ei tarvittu läpivientireikiä. Tällä tavalla pystyttiin myös saavuttamaan alhaisemmat valmistuskustannukset. J2-liittimen malli on 1X4PIN-1.27MM-180 [kuva 14].



Kuva 14. J2-Pintaliitosliitin.

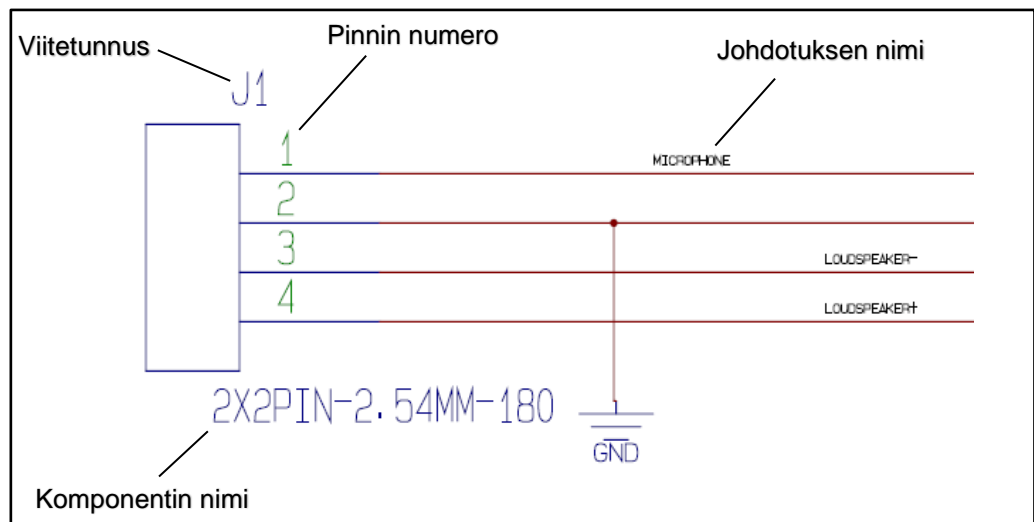
6.3 Suunnittelutyökalu Zuken Cr-8000

CR-8000 on japanilaisen Zuken yrityksen lanseeraama ohjelmistosarja, jota käytetään kalustettujen piirilevyjen suunnitteluun. Se on tuotokeskeinen elektronisten järjestelmien suunnitteluratkaisu, joka tarjoaa työkalut suunnittelun optimointiin sekä mikropiiri- että piirilevyntasolla. Ohjelmistosarjaan kuuluvat CR-8000 Design Force-, System Planner-, Design Gateway-, DFM Center- ja DS-CR Data Management -ohjelmistot. [10.]

6.4 KytKentäkaavion suunnittelu

KytKentäkaaviossa käytetään eri kokoisia ja muotoisia symboleja [kuva 15]. Yksinkertaisimmillaan symboli voi olla vain muutama viiva. Se voi myös olla monimutkaisempi kuvio, mutta kaikkia symboleja yhdistää muutama tekijä. Näitä ovat: [11, s. 2.]

- Jokainen symboli sisältää kuvion tai piirroksen, joka kuvaa osaa tai sen funktiota. Kuviota kutsutaan komponentin rungoksi.
- Jokaisella symbolilla on oltava nimi, joka on suhteessa suunnitteluohjelmaan. Nimeä kutsutaan yleisesti komponentin nimeksi. Kuvion komponentin nimi on toiminnaltaan samanlainen kuin tiedoston tiedostonimi.
- Komponentin rungosta lähtee viiva, jota kutsutaan pinniksi. Pinni kuvaa komponentin kytKentäkohtaa.
- Jokaisella pinnillä on oltava oma uniikki numero. Pinni voidaan myös asettaa inputiksi tai outputiksi, jolloin suunnittelusääntö tarkastuksessa huomataan mahdolliset väärinkytKennät. Esimerkiksi vastuksen molemmat pinnit eivät voi olla numeroitu "1".
- Jokaisella pinnillä voi olla oma nimi. Nimen pitää olla uniikki kyseisellä symbolilla.
- Jokaisella symbolilla on oma viitetunnus, jotta se pystytään tunnustamaan kytKentäkaavion muista symboleista. Viitetunnus sisältää yleensä kirjaimen, jonka jälkeen tulee numero. Esimerkiksi R1, C1, D1 tai U1.



Kuva 15. Kytchentäkaavion symboleja.

Ensimmäinen asia, joka tehdään, kun ollaan luomassa kytchentäkaaviota, on tarvittavien symbolien luonti. Tämä prosessi vaihtelee riippuen siitä, mitä suunnitteluohjelmistoa käytetään. Tässä työssä kytchentäkaavio [liite 1] on luotu käyttäen Zuken CR-8000 Design Gateway -ohjelmistoa.

Kun symbolit on luotu, ne sijoitetaan tyhjälle kytchentäkaavion sivulle. Symbolit kannattaa sijoittaa suhteellisen väljästi. Jos symbolit on sijoitettu liian tiheästi, voi olla haastavaa lisätä kaavioon johdotukset ja mahdollisesti myöhemmin tarvittavat lisäkomponentit. Tässä työssä komponenttien määrä on hyvin pieni, ja ne mahtuvat yhdelle sivulle. Isommissa projekteissa, joissa on suurempi määrä komponentteja, voidaan käyttää useita sivuja. Tärkeää on myös nimetä symbolit oikein ja asettaa niille niiden ominaisuudet. Tässä työssä symbolien ominaisuudet tulivat automaattisesti suunnitteluohjelmiston tietokannasta, eli komponentit määritettiin kytchentäkaavion käyttäen niiden varaosnumeroita. Varaos numerot sisälsivät oleelliset tiedot komponenteista, kuten osanumeron, komponentin nimen jne. Oikein tehty nimeäminen on myös tärkeää, koska osaluettelo tulostetaan yleensä käyttäen kytchentäkaavion tietoja. [11, s. 4-5.]

Symbolien sijoittamisen jälkeen niiden välille luodaan kytkennät. Kytkennät luodaan yhdistämällä komponenttien pinnit virtuaalisilla viivoilla. Viivat tai johdotukset kuvastavat fyysisiä kytcentöjä piirilevyn komponenttien välillä. Johdotukset tulee myös nimetä oikein, jotta netlist saadaan määritettyä oikein. Johdotuksille on myös mahdollista määrit-

tää attribuutit, kuten jännite tai virta. Attribuutteja pystytään hyödyntämään suunnittelu-sääntöjen tarkastuksen myöhemmässä vaiheessa, kun esimerkiksi tarkastetaan johtimien ja komponenttien juotosalustojen ryömintä- ja eristysvälejä. Netlistiä käytetään myöhemmin apuna sijoittelupiirustuksen reitityksissä. [11, s. 5.]

Kun kytkentäkaavio on tehty sille, suoritetaan suunnittelusääntöjen tarkastus. Tässä tarkastuksessa suunnitteluohjelmisto tarkastaa, löytyykö kytkentäkaaviosta kytkemättömiä johdotuksia tai pinnejä, oikosulkuja, duplikaattipinnejä symboleissa jne. [11, s. 7.]

6.5 Sijoittelupiirustuksen suunnittelu

Kun kytkentäkaavio on saatu valmiiksi, siitä luotu netlist syötetään sijoittelupiirustuksessa käytettävään suunnitteluohjelmistoon. Tässä työssä sijoittelupiirustus [liite 2] on luotu käyttäen Zuken CR-8000 Design Force -ohjelmistoa. Sijoittelupiirustuksen tekeminen on verrattavissa kytkentäkaavioon tekemiseen, ja niiden tärkeimmät vaiheet muistuttavat toisiaan. Sijoittelupiirustuksen päävaiheet ovat: [11, s. 11.]

- komponenttien jalanjälkien luonti
- komponenttien sijoitus
- komponenttien reititys.

Footprint eli jalanjälki on fyysinen kuvaus komponentista, joka koostuu padeista, esteistä ja tekstistä. Jalanjäljet voidaan luoda yrityksen määrittelemästä tietokannasta, kuten tässä työssä on tehty tai ne voidaan määrittää itse. [11, s. 11.]

Padi eli juotosalusta on fyysinen esitys komponentin pinnistä. Yleisesti jalanjäljen ensimmäinen padi on eri muotoinen kuin muut, koska piirilevyn juotosvaiheessa komponentti on helpompi asettaa ja suunnata oikeinpäin. Padi koostuu yhdestä tai useasta esteestä piirilevyn eri kerroksissa. [11, s. 13.]

Este on piirilevyllä olevan objektin ääriviiva tai muoto, joka täytyy ottaa huomioon, kun komponentteja sijoitetaan tai reititetään. Esimerkiksi, läpiladottavan komponentin läpivientireikä tai komponentin fyysiset reunat. [11, s. 12.]

Läpivientireikä eli via on päällystetty reikä, joka tarjoaa yhteyden piirilevyn eri kerrosten välille. Monikerroslevyissä on mahdollista suorittaa reititys piirilevyn eri kerroksissa. Tällä tavalla on mahdollista pienentää piirilevyn kokoa. Läpivientireiän johtavuus tehdään joko galvanoimalla se tai asettamalla johtava putki tai niitti reikään.

Komponenttien sijoituksessa tulisi ottaa huomioon muutama suunnittelusääntö. Suunnittelusäännöt ovat seuraavanlaisia: [2, s. 127.]

- Erittäin herkissä piireissä piirin kriittiset komponentit sijoitetaan ensimmäisenä ja niin, että ne tarvitset mahdollisimmat lyhyet reititykset.
- Vähemmän kriittisissä piireissä komponentti sijoitetaan niin, että vastaavat täsmälleen signaalivirran järjestystä. Näin pystytään saavuttamaan johtimien minimipituus.
- Piireissä, joissa muutamassa komponentissa on huomattavasti enemmän liitäntäpisteitä kuin muissa komponenteissa. Nämä keskeiset komponentit sijoitetaan ensin ja loput komponenteista sijoitetaan niiden ympärille.
- Yleinen sääntö on, että ensimmäisenä sijoitetaan komponentit, joiden sijainti on kiinteä, kuten liittimet, jäähdytyslevyt, jne. Tämän jälkeen sijoitetaan komponentit, jotka on kytketty näihin kiinteisiin komponentteihin.
- Suuremmat komponentit sijoitetaan ensin ja niiden välit täytetään pienemmillä komponenteilla.
- Komponentit tulee sijoittaa niin, että komponentteja ei tarvitse asettaa epäjärjestykseen, jos komponentteja joudutaan korvaamaan.
- Komponentit tulee sijoittaa riviin tai jonoon niin, että lopputulos on selkeä.

Myös johtimen paksuudella on merkitys piirilevyn toimivuudessa. Tämä pitää ottaa huomioon suunnittelussa. Johtimen paksuus on periaatteessa funktio, kuinka paljon virtaa piirissä pystytään kuljettamaan ja kuinka paljon lämpöä piirissä saa muodostua resistanssista johtuen. Mitä kapeammat johtimet, sitä korkeampi resistanssi. Leveämpiä johtimia halutaan käyttää matalan impedanssin signaaleissa, joissa sarjassa olevat resistanssit ja induktanssit halutaan pitää minimissä eikä hajakapasitanssi ole tärkeä. Toisaalta korkean impedanssin signaaleissa, joissa hajakapasitanssi täytyy olla rajoitettu mahdollisimman matalaan arvoon, käytetään kapeita johtimia. Yleisesti johtimien paksuus tulisi pitää mahdollisimman reiluina, jotta pystytään kontrolloimaan muutoksia etausprosessissa. [2, s. 12.]

Tämän työn johtimien paksuudeksi valittiin 0,15 mm. Piirilevy pystyttiin suunnittelemaan kapeilla johtimilla, koska piirissä ei kulje suuria virtoja. Myös johdinten koko haluttiin pitää mahdollisimman pienenä. Näin pystyttiin pienentämään piirilevyn kokoa ja reititykset pystyttiin suorittamaan yhdessä kerroksessa ilman läpivientireikiä.

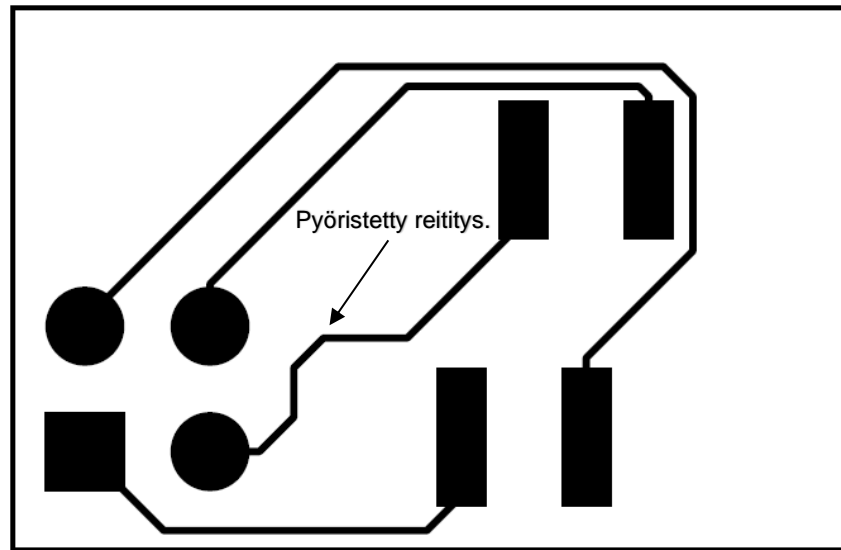
Kemikaaliset ja valokuvaus prosessit, joita käytetään piirilevyn valmistuksessa, asettavat vaatimuksia, kuten pienin mahdollinen johtimen leveys ja pienin mahdollinen etäisyys johtimien välillä. Jos johdin on tehty kapeammaksi kuin pienin mahdollinen määritetty leveys, on mahdollista, että se aukeaa piirilevyn valmistusvaiheessa. Toisaalta jos kaksi johdinta kulkee liian lähellä toisiaan, on mahdollista, että ne aiheuttavat oikosulun piirissä. [2, s. 129.]

Johtimien etäisyyden suunnittelu perustuu yleisesti jänniteläpilyöntiin tai kipinäpurkaukseen vierekkäisten johtimien välillä. Johtimien etäisyys määritetään vierekkäisten johtimien huippujännitteiden eroavaisuuksien, kapasitiivisen kytkeytymisen parametrien ja käytettävän pinnoitteen avulla. [2, s. 129.]

Työssä johtimien etäisyys saa olla minimissään 0,2 mm. Tämä on KONE Oyj:n asettamien vaatimusten mukainen. Suunnitteluohjelmistossa se on määritetty automaattisesti.

Johtimien reitityksessä pitää myös huomioida niiden muoto. Teräviä mutkia reitityksessä tulisi välttää viimeiseen asti. Piirilevyn suunnittelussa signaalijohtimet eivät saa kääntyä enempää kuin 45° ja kaikki viistekulmat tulisi olla alla esitetyn kuvan mukaiset [kuva 16]. Pyöristetäillä reitityksillä pystytään minimoimaan johtimien halkeilu, folion nouseminen ja

sähköiset käyttöhäiriöt, sekä se myös helpottaa valmistusvaiheessa juotteen leviämässä. [2, s. 130-131.]



Kuva 16. Adapteripiirilevyn sijoittelupiirustuksen yläkerros.

Suunnittelussa tulisi myös huomioida virta- ja maadoitusjohtimien reititys. Ensisijaisesti virta- tai maadoitusjohtimen pitäisi olla suoraan yhteydessä laitteesta virtalähteeseen. Jos tämä ei ole mahdollista, pystytään sama saavuttamaan, kun johtimen massaa suurennetaan kasvattamalla johtimen leveyttä. Näiden johtimien leveydellä ja sijoituksella on tärkeä rooli piirin jännitteiden vakauden jakautumisessa. Joissain tapauksissa resistiiviset häviöt voivat aiheuttaa epävakaaan virta- tai maadoitusjärjestelmän. Ongelmat ovat suurempia, kun suunnitellaan digitaalisia ja korkeataajuisia signaalipiirejä. [2, s. 132.]

6.6 Ympäristötekijät

Tämän työn kannalta on myös tärkeää huomioida suunnittelutyössä ympäristön aiheuttamat tekijät. Työssä suunniteltu adapteripiirilevy sijaitsee hissikorin kutsupaneelin sisällä. Hissin liikkuessa kalustettuun piirilevyyn voi kohdistua tärinää. Hissi voi olla myös asennettu erilaisiin ympäristöihin, näin ollen sen komponentit voivat altistua suuriin lämpötilanmuutoksiin. Hissin sijainti voi vaihdella Suomen arktisista olosuhteista, päiväntä-

saajan alueella sijaitsevien maiden trooppiseen ympäristöön. Tämän takia voidaan olettaa, että myös kalustetun piirilevyn täytyy kestää altistuminen ympäristöllisiin tekijöihin ilman, että se vahingoittuu fyysisesti tai että sen toiminta häiriintyy. Myös sen lisäksi että kalustettu piirilevy toimii laitteiston sähköisenä välikappaleena, se myös tarjoaa mekaanisen alustan järjestelmän aktiivisille ja passiiville komponenteille. Näin ollen kalustettu piirilevy on erottamaton osa laitteiston kokoonpanoa ja sen täytyy kestää koko rakentamiseen liittyvät ympäristökuormitukset. Alla on lueteltu tärkeitä piirilevyn suunnittelussa huomioitavia ympäristötekijöitä. [2, s. 136.]

6.6.1 Termiset tekijät

Piirilevysuunnittelijan tulisi ottaa huomioon seuraavat seikat, jotta pystytään varmistamaan kunnollinen jäähdytys sähköisille paketeille: [2, s. 136.]

- Käyttämällä komponentteja, jotka on suunniteltu kestävänsä korkeita lämpötiloja tai ovat valmistettu kuumankestävästä materiaaleista, tulisi käyttää aina kun mahdollista.
- Lämpötilaherkät komponentit tulisi eristää termisesti korkeaa lämpötilaa säteilevien lähteiden läheltä. Tällä tavalla niitä niiden toimintahäiriöt voidaan minimoida.
- Varmistamalla kunnollinen johtuva jäähdytys. Lämmön poisto voidaan saavuttaa kaikilla kolmella lämmönsiirtotavalla, joita ovat lämmön johtuminen, konvektio ja säteily.

Lämpötilan vähentäminen johtumalla voidaan saavuttaa: [2, s. 136.]

- käyttämällä materiaaleja, joissa on korkea lämpötilan johtuvuus
- omaksumalla lyhin mahdollinen reitti jäähdytyslevyihin
- varmistamalla hyvä terminen kytkentä komponenttien välille

- suunnittelemalla painettu johdin termisellä reitillä mahdollisimman suureksi.

Jäähdytystä konvektion avulla voidaan lisätä: [2, s. 136.]

- parantamalla lämmönsiirrolle käytettävissä olevaa pinta-alaa
- korvaamalla pyörteetön ilmanvirtaus pyörteisellä virtauksella.

Lämmönsiirtoa voidaan parantaa säteilyn avulla: [2, s. 137.]

- käyttämällä materiaaleja, joissa on korkea emissiivisyys ja imukykyisyys
- kohottamalla säteilevän kappaleen lämpötilaa
- madaltamalla imukykyisen kappaleen lämpötilaa
- minimoimalla takaisin heijastus säteilevään kappaleeseen.

Näin tehdään, jotta pystytään eliminoimaan paikalliset kuumat pisteet, jotka voivat vahingoittaa piirilevyä tai sen komponentteja. Siksi pitää tehotransistorit ja korkean tehon vastukset sijoittaa lähelle laitteen runkoa. Näin laitteen runkoa pystytään käyttämään viilennykseen jäähdytyslevyn tavoin. [2, s. 137.]

6.6.2 Epäpuhtaudet

Kalustetut piirilevyt tulee olla suojattu pölyä, likaa, saasteita, kosteutta, suolasuihketta ja mekaanista väärinkäyttöä vastaan. Suojaus pystytään suorittamaan eristysmassojen avulla. Yleisimpiä eristysmassoja ovat polyuretaani, silikonit, akryylit, polystyreenit ja suojalakat. Seuraavat seikat pitäisi ottaa huomioon, kun mietitään, mikä suoja-aine valitaan suojaamaan kalustettua piirilevyä epäpuhtauksilta: [2, s. 137.]

- aineen kyky ehkäistä korroosiota ja sen kyky suojata piirilevyä
- aineen taipuisuus, sen kyky kestää halkeilua iskuista

- aineen helppo käyttö ja käsittely
- läpinäkyvyys, jotta pystytään erottamaan piirilevyn komponentit ja merkinnät.

Yleisesti suoja-aineen paksuus on minimissä 0,075 mm ja maksimissa 0,25 mm [4, s. 137].

Yleinen tapa suojata piirilevy on myös koteloida se. Koteloinnilla pystytään estämään epäpuhtauksien ja kosteuden pääsy kosketuksiin piirilevyn kriittisten komponenttien kanssa. Kotelon tiivyyden määrittämiseksi on kehitetty IP-luokitusjärjestelmä. IP-luokitusjärjestelmä ottaa huomioon vesisuojausten sekä suojausten vieraiden esineiden ja epäpuhtauksien sisäänpääsystä. Jo suunnitteluvaiheessa on huomioitava, minkä tason kotelointi kalustetulle piirilevylle mahdollisesti tarvitaan. [12.]

6.6.3 Iskut ja tärinät

On arvioitu, että noin 20 % piirilevyn vikaantumista johtuu tärinästä ja iskuista. Siitä huolimatta, että tämän arvion on ensimmäisenä tehnyt ilmavoimat, on muilla aloilla huomattu myös sama ongelma. Vaikka piirilevyn laminaatti, kuten FR-4 kestää hyvin iskujen ja tärinän aiheuttamaa rasitusta, samaa ei voi sanoa sähköisistä komponenteista, jotka juotetaan piirilevylle. Koska komponenttien johtimet ovat jäykät, tärinästä johtuvan venymisen tai taipumisen takia ne voivat murtua. Juotosaine on myös altis vaurioitumaan tärinän takia, ja murtuessaan komponenttien jalat voivat irrottaa piirilevystä. Jopa pieni määrä tärinää voi aiheuttaa komponenttien johtimien ja juotoskohtien väsymisen ajan kanssa. [13.]

Kun suunnitellaan kooltaan isompia kalustettuja piirilevyjä, tärinä, taipuminen ja kaareutuminen voivat aiheuttaa ongelmia ja ne pitää ottaa huomioon. Osissa, joissa on mahdollista, että ne vikaantuvat iskusta tai tärinästä johtuen, pystytään tärinän ja vääristymisen minimoimaan sijoittamalla ne mahdollisimman lähelle piirilevyn tuettuja alueita ja käyttämällä tärinänvaimentimia aina, kun on tarpeellista. Joissain tapauksissa on myös mahdollista kiinnittää komponentit tarvittaessa kiristimillä tai kiinnikkeillä. [2, s. 138.]

Ensimmäinen askel, kun pyritään estämään värinästä johtuvaa väsymistä, on noudattaa DFR-menetelmää. DFR-menetelmässä pyritään varmistamaan kalustetun piirilevyn luotettavuus jo suunnitteluvaiheessa ennen kuin kalustetut piirilevyt valmistetaan. Osa tätä menetelmää on sisällyttää hyviä DFM-tapoja jo suunnitteluvaiheessa. Tärkeä osa DFR-menetelmää on suunnitella oikeanlaiset padit ja jalanjäljet komponenteille, joita valmistettavassa kalustetussa piirilevyssä tullaan käyttämään. Toinen osa DFR-menetelmää on käyttää simulaatiotyökaluja, joilla pystytään ennakoimaan, mikä kohta suunniteltavasta tuotteesta voi hajota. Tällä tavalla voidaan jo suunnitteluvaiheessa korjata havaitut virheet. [13.]

7 Yhteenveto

Insinööriyön osalta onnistuttiin hyvin ja piirilevy saatiin suunniteltua halutussa aikataulussa. Suunnittelutyössä onnistuttiin myös luomaan tuote, joka vastaa sille asetettuja vaatimuksia. Tuotantodokumentaatio luotiin onnistuneesti ja sille luotiin oikeanlaiset rakenteet KONE Oyj:n järjestelmään. Haastavin osuus työssä oli itse suunnittelutyö. Työssä käytetyt ohjelmistot ja prosessit olivat työntekijälle täysin tuntemattomat entuudestaan. Tämän takia aikaa kului aluksi harjoitteluun ja oppimiseen. Mutta opiskelemalla KONE Oyj:n tuotekehityksen sisäisiä ohjeita ja myös kysymällä apua piirilevysuunnittelijoilta saavutettiin haluttu lopputulos.

Alkutilanteena oli vain vaatimukset, minkä mukaan adapteripiirilevy oli määritelty. Yksi suurimmista haasteista oli piirilevyn koko, joka haluttiin saada mahdollisimman pieneksi. Pieni koko pystyttiin saavuttamaan sijoittamalla komponentit mahdollisimman lähekkäin ilman, että ne peittivät tietyt kohdat KNSMUL-piirilevyllä. Myös reitityksien kokoa jouduttiin pienentämään työn aikana. Tällä tavalla pystyttiin siirtämään komponentit lähemmäksi toisiaan, eikä läpivientirei'ille ollut tarvetta. Loppujen lopuksi adapteripiirilevyn kooksi määräytyi 11,00 mm x 17,00 mm.

Adapteripiirilevyn materiaaliksi määräytyi KONE Oyj:n asettamien vaatimusten mukainen FR-4-laminaatti, ja se päätettiin tehdä kaksikerroksisena. Työssä piirilevyn komponentit eli liittimet tulivat eri puolille piirilevyä. Läpiladottava J1-liitin sijoitettiin piirilevyn alempaan kerrokseen ja J2-pintaliitosliitin ylempään kerrokseen. Juotos suoritetaan pii-

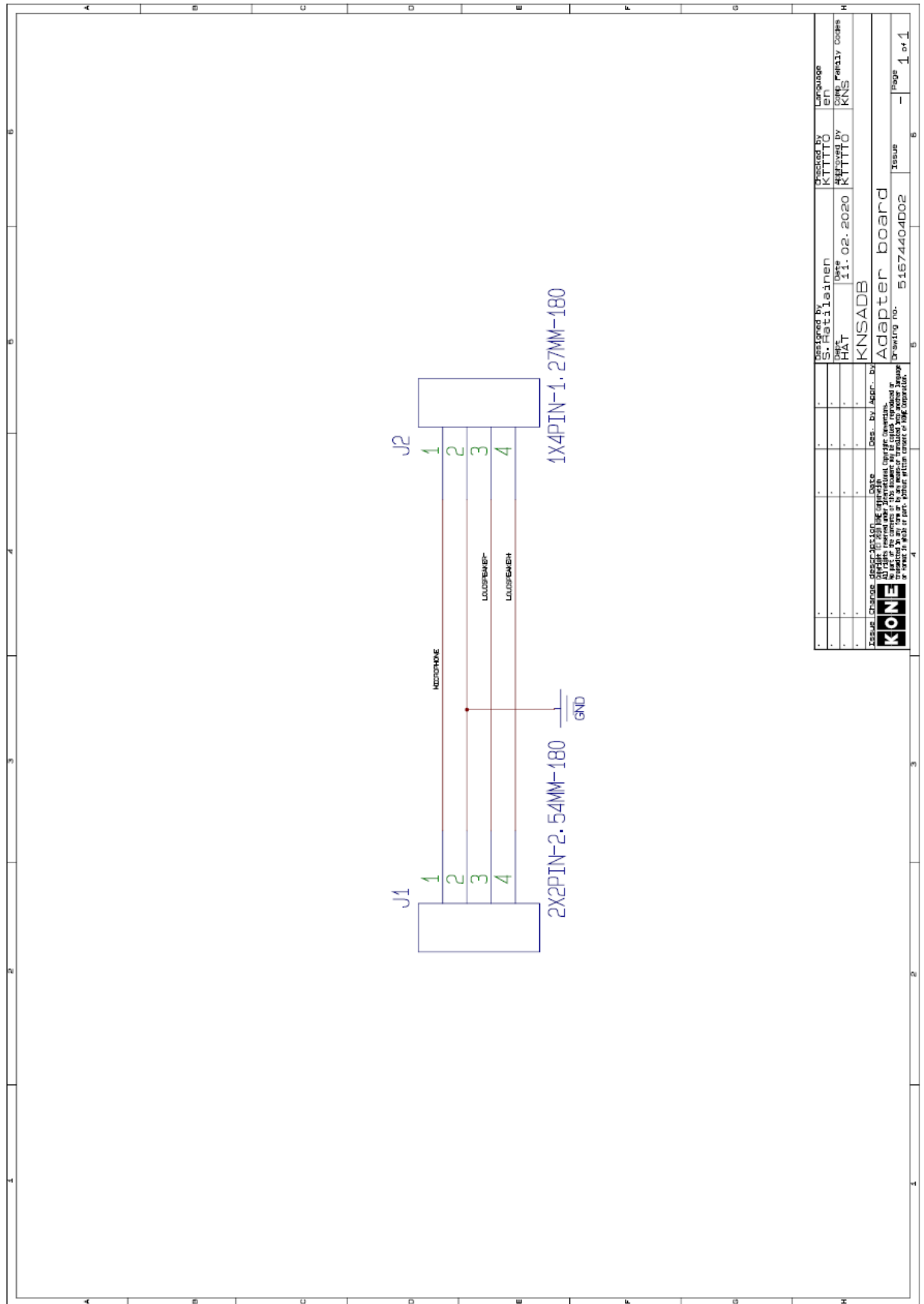
rilevyn ylemmässä kerroksessa. Juotosmenetelmäksi valittiin Reflow-juotos eli sulatus-juottaminen. Syy tähän on piirilevyn ylemmään kerrokseen sijoitettu pintaliitos J2-liitin. Läpiladottavan J1-liittimen osalta päätettiin, että se juotetaan käsin- tai selektiivijuottamalla, ainakin prototyyppien osalta.

Adapteripiirilevystä valmistettiin 40 kpl:n prototyyppierä. Erän koko määräytyi laminaatin koon mukaan. 40 kpl saatiin hyvin mahtumaan yhdelle laminaattilevylle. Prototyyppierän valmisti Hyvinkäällä sijaitseva Note Oy. Prototyyppierän osalta suurimmaksi haasteeksi osoittautui läpiladottavan J1-liittimen saatavuus. Pitkän toimitusajan takia päädyttiin siihen ratkaisuun, että puolet prototyyppierästä toimitettaisiin ilman J1-liitintä. Puuttuvien liittimien osalta päätettiin, että tarvittaessa ne juotettaisiin KONE Oyj:n tuotekehityksen tiloissa Hyvinkäällä.


Lähteet

1. Official website of KONE. 2020. Verkkoaineisto. KONE Oyj. <<https://www.kone.com/fi/yhtio/>>. Luettu 27.10.2020.
2. Khandpur, R S. 2006. Printed Circuit Boards. India: McGraw & Hill Companies.
3. Ho, William & Ji, Ping. 2007. Optimal Production Planning for PCB Assembly. UK: Springer London.
4. Mitzner, Kraig. 2007. Complete PCB Desing Using Orcad Capture and Layout. USA: Newnes.
5. Coombs, C. F Jr. 2001. Printed Circuit Handbook. USA: McGraw-Hill Companies.
6. Kuisma, Mikko. 2004. Elektroniikan valmistustekniikan perusteita. Verkkoaineisto. LTY. <<http://www.kuisma.eu/elper/9valmistus/1valmistus.html>>. Luettu 21.03.2020.
7. Budapest University of Technology and Economics, Department of Electronics Technology. Verkkodokumentti. <http://www.ett.bme.hu/meca/Courses/TEP/1_1.html>. Luettu 30.09.2020.
8. Pöyhönen, Veikko & Niinikoski, Juhani. Piirilevyn valmistus valotusmenetelmällä. Verkkoaineisto. Kouluelektronikka Oy. <http://www.kolumbus.fi/~mirian77/piirilevyn_valmistusohje.pdf>. Luettu 25.03.2020.
9. The Value of Requirements Management. 2018. Verkkodokumentti. <<https://www.jamasoftware.com>>. Luettu 26.10.2020.
10. CR-8000 Overview. 2020. Verkkoaineisto. Zuken. <<https://www.zuken.com/en/product/cr-8000/>>. Luettu 27.10.2020.
11. Varteresian, Jon. 2002. Fabricating Printed Circuit Boards. USA: Elsevier Science.

12. IP-luokitus. 2020. Verkkoaineisto. Stek ry. <<https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkojarjestelmat/ip-luokitus/>>. Luettu 27.10.2020.
13. PCB Design Considerations for Vibration Fatigue. Verkkodokumentti. Cadence. <<https://resources.pcb.cadence.com/blog/2019-pcb-design-considerations-for-vibration-fatigue>>. Luettu 26.10.20



	A	B	C	D	E	F	G		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9							<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;"> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">J 2</div> </div>		
				Designed by S. Ratilainen		Checked by KTTTTT		Language EN	
		Dept HAT		Date 16.02.2020		Approved by KTTTTT		Component family codes KNS	
								KNSADB	
								TOP SIDE	
KONE		Copyright (c) 2020 KONE Corporation. All rights reserved under International Copyright Conventions. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, without written consent of KONE Corporation.		Sales ref no.		Drawing no. 516744.04D03		Issue - Page 1 of 2	

	A	B	C	D	E	F	G	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
					Designed by S. Raitila	Checked by KTTTTO	Language EN	
					Dept HAT	Date 18.02.2020	Approved by KTTTTO	Component family code KNS
					KNSADB			
					BOTTOM SIDE			
					Issue change description	Date	Des. by	Appr. by
					 <small>Copyright (c) 2020 KONE Corporation. All rights reserved under International Copyright Conventions. No part of the contents of this document may be copied, reproduced or transmitted in any form or by any means, in whole or part, without written consent of KONE Corporation.</small>			
					Sales ref. no.	Drawing no.	Issue	Page
						51674404D03	-	2 of 2