

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Sulautetut järjestelmät
Jari Sandelin

Opinnäytetyö

Elektroniikan prototyyppien valmistustekniikat

Työn ohjaaja: Yliopettaja Mauri Inha
Tampere 4/2009

Tekijä: Jari Sandelin
Työn nimi: Elektroniikan prototyyppien valmistustekniikat
Päivämäärä: 23.04.2009
Työn laajuus: 37 sivua
Avainsanat: Prototyyppi, elektroniikka, piirilevy
Koulutusohjelma: Tietotekniikka
Suuntautuminen: Sulautetut järjestelmät
Työn ohjaaja: Yliopettaja Mauri Inha, Tampereen ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä elektroniikan piirilevyjen prototyyppien suunnitteluun ja niiden erilaisiin valmistusmenetelmiin. Työssä perehdytään prototyyppien valmistukseen sähköisen toiminnan osalta eikä oteta kantaa prototyyppihin, joiden tarkoitus on näyttää valmiilta tuotteelta ilman valmista sähköistä toimintaa. Piirilevyjen prototyyppien valmistamiseen on tarjolla useita erilaisia tekniikoita, joilla jokaisella on hyviä ja huonoja puolia. Opinnäytetyössä pyritään esittelemään kattavasti ja selkokielisesti yleisimmät valmistustekniikat prototyyppien valmistuksessa ja käsittelemään niiden ominaisuuksia ja rajoituksia. Prototyyppien valmistuksesta ei ole juurikaan saatavilla painettua kirjallisuutta, vaan tiedot ja taidot niiden valmistuksesta ovat hajaantuneet ympäriinsä pieniksi palasiksi. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on osaltaan paikata tätä ongelmaa ja tarjota mahdollisuus tutustua erilaisiin käytössä oleviin tekniikoihin yhden teoksen avulla.

Opinnäytetyön alkuosassa esitellään elektroniikkalaitteen yleisen suunnittelun pääperiaatteita ja vaatimuksia sekä käydään läpi elektronisen laitteen suunnittelu alusta valmiiksi tuotteeksi asti. Opinnäytetyön keskivaiheilla kerrotaan piirilevyjen valmistamiseen tarvittavista työkaluista, piirilevyjen prototyyppien valmistamisesta, erilaisista valmistustekniikoista ja niiden eduista sekä rajoituksista. Opinnäytetyön lopussa esitellään yleisiä ohjeita prototyyppien toteuttamisesta sekä esitellään työn johtopäätökset.

Author: Jari Sandelin
Work label: Prototyping techniques
Date: 23 April 2009
Number of pages: 37 pages
Keywords: Prototype, electronic, circuit board
Education programme: Information Technology
Line: Embedded systems
Thesis supervisor: Senior Lecturer Mauri Inha
Co-operating Company: TAMK University of Applied sciences

Abstract

The purpose of this thesis is gaining acquaintance with different electronic prototyping techniques. Every electronic prototyping technique has its positive features and its limitations. There are few published books about different prototyping techniques, so this thesis aims to collect the information between one cover. The goal of this thesis is to analyse the making of an electronic device and different prototyping techniques.

First of all, this thesis goes through the background of designing electronic device from scheme to final product. The second part analyses tools that are needed when making circuit boards, and describes different electronic prototyping techniques, as well as their properties and limitations. In the last part, the thesis presents general information about prototyping, and discusses the conclusions drawn from the study.

Alkusanat

Tämä opinnäytetyö on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun sulautetut järjestelmät -linjan opinnäytetyönä.

Kiitokset Tampereen ammattikorkeakoulun opettajille, jotka ovat antaneet minulle pohjatietoa ja taidot tämän työn kirjoittamiseen. Kiitokset myös työn valvojalle yliopettaja Mauri Inhalle hyvästä palautteesta ja avusta työn kirjoittamisen aikana. Erityiset kiitokset Jenni Laaksoselle opinnäytetyön oikolukemisesta sekä kieliopillisista neuvoista.

Tampereella 23. huhtikuuta 2009

Jari Sandelin

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	Elektronisen laitteen valmistaminen	2
2.1	Laitekotelon valinta ja suunnittelu	3
2.2	Kytkenän suunnittelu	4
2.3	Piirilevyn suunnittelu	5
2.4	Piirilevyn valmistus ja kalustaminen	8
2.5	Laitteen kokoaminen ja koestus	9
3	Prototyyppien valmistus	10
3.1	Tuotekehityksen ongelmat	10
3.2	Prototyypin suunnittelun ohjeita	11
4	Työkalut prototyypin valmistukseen	13
5	Prototyypin valmistuksen erilaiset tekniikat.....	15
5.1	Prototyypin valmistus Dead bug -menetelmällä	15
5.2	Prototyypin valmistus verolevyille	17
5.3	Prototyypin valmistus koekytkentäalustalle.....	20
5.4	Prototyypin valmistus wire-wrap-menetelmällä	22
5.5	Prototyypin valmistus omavalmisteiselle piirilevyille	24
5.6	Prototyypin piirilevyn valmistuttaminen ulkopuolisella.....	28
6	Yleistä prototyypin valmistuksesta.....	29
7	Yhteenveto	31

Lähdeluettelo

1 Johdanto

Työn tarkoituksena on perehtyä siihen, kuinka elektronisten laitteiden prototyyppejä valmistetaan. Prototyyppien valmistukseen on käytössä monenlaisia tapoja, joista jokaisella on tiettyjä etuja ja rajoitteita. Prototyyppien valmistamisesta on tullut viime vuosina paljon vaikeampaa kuin aikaisemmin. Yhtenä syynä on komponenttien fyysisen koon pieneneminen ja digitaalipiireissä käytettyjen taajuuksien kasvaminen. Pintaliitoskomponenttien käyttäminen prototyyppien valmistuksessa on hankalaa, koska perinteiset valmistustekniikat on suunniteltu lähinnä läpiladottavia komponentteja ajatellen.

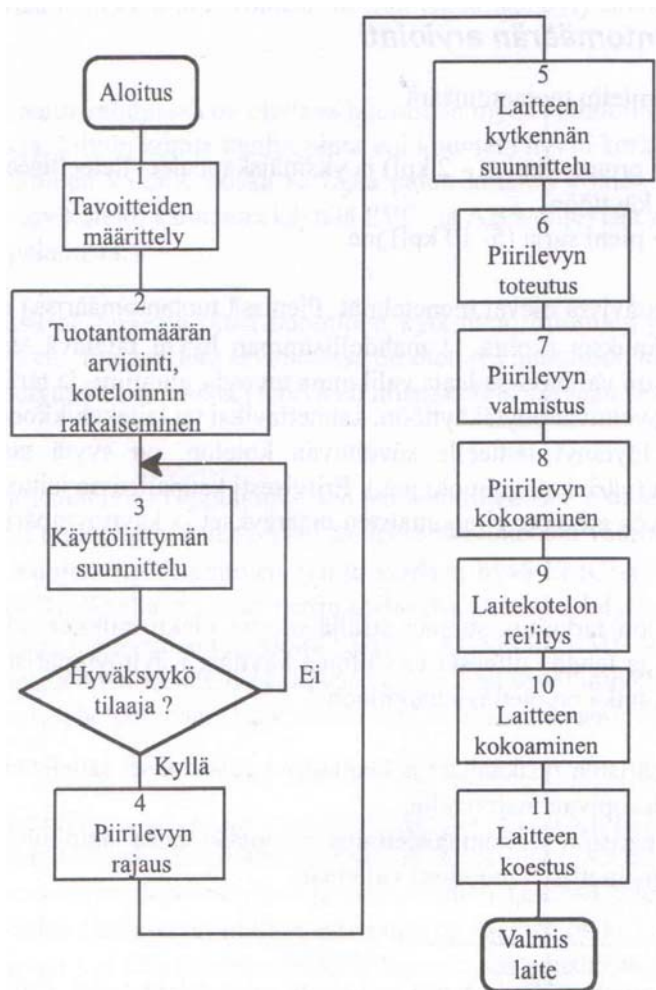
Tuotteiden jatkuvasti lyhentynyt elinkaari luo myös paineita saada uudet tuotteet entistä nopeammin tuotantoon. Paine luoda uusia malleja tuotteista on kasvanut huomattavasti. Kun tuotannossa aletaan valmistaa uutta laitetta, alkaa yleensä välittömästi myös seuraavan parannellun tuotteen suunnitteleminen suunnitteluosastolla. Jos juuri tuotantoon siirtynyt tuote tarvitseekin muutoksia, vie se resursseja uudelta tuotteelta. Tuotteiden siirtymäaika suunnittelusta tuotantoon on lyhentynyt, mikä aiheuttaa sen, että piirilevyjen prototyyppien on vastattava mahdollisimman nopeasti lopullista tuotetta ja asettaa lisää uusia vaatimuksia prototyyppien suunnitteluun ja valmistukseen. Suunnittelun ja tuotannon on tuettava toisiaan mahdollisimman paljon, jotta ylimääräisiltä ongelmilta vältytään siirtymävaiheessa.

Prototyyppien valmistuksesta ei ole kirjallisuutta juuri lainkaan, ja kaikki tieto eri valmistustekniikoista on hyvin laajalle hajaantuneena. Työn tarkoituksena on luoda yksi teos, jossa on esiteltyä kaikki keskeiset tekniikat yhdellä kertaa mahdollisimman selkeästi.

Luvussa kaksi käydään läpi elektronisen laitteen valmistuksen eri vaiheet suunnittelusta aina valmiiksi tuotteeksi saakka. Luvussa kolme käsitellään tuotekehityksen ongelmia. Neljännessä luvussa käydään läpi piirilevyn valmistuksessa yleisesti tarvittavia työkaluja ja välineitä. Viidennessä luvussa tutustutaan erilaisiin tekniikoihin, joiden avulla prototyyppejä yleensä valmistetaan. Kuudennessa luvussa käydään läpi kohtia, joita on hyvä ottaa huomioon aina valmistettaessa prototyyppejä. Seitsemännessä luvussa esitellään opinnäytetyön johtopäätöksiä.

2 Elektronisen laitteen valmistaminen

Ennen kuin uudesta laitteesta voidaan tehdä prototyyppiä, täytyy laitteesta olla suunnitelma valmiiksi tuotteeksi asti. Uuden elektronisen laitteen rakentaminen ja valmistaminen sisältää monia vaiheita. Näistä vaiheista muodostuu useita eri vaatimuksia suunnittelulle ja valmistukselle, ja suurin osa näistä koskee myös itse prototyypin valmistusta, mutta eivät suinkaan kaikki. Kun aletaan suunnitella uutta laitetta, on edettävä johdonmukaisesti. Suunnitelmaa tehdessä voidaan esittää seuraavia kysymyksiä: mitä laitteella halutaan tehdä (mittaus, datankeruu, suodatus), mitä ominaisuuksia laitteella tulee olla, miten sitä halutaan käyttää, halutaanko laitteesta verkko- vai akkukäyttöinen ja millaiset liitännät siihen halutaan. Kuviossa 1 on elektronisen laitteen suunnittelun eri vaiheet kaaviona, josta voi nähdä, että elektronisen laitteen suunnittelua ja toteutusta voidaan verrata hyvin tietokoneohjelman toteutukseen. /1/



Kuvio 1. Elektronisen laitteen suunnittelun eri vaiheet /1/

2.1 Laitekotelon valinta ja suunnittelu

Laitteelle suunniteltu tuotantomäärä määrää useimmiten valmistuksessa käytettävissä olevat valmistusmenetelmät. Prototyyppejä valmistettaessa valmistusmäärät ovat usein yksittäisiä. Ennen kuin laitteen suunnittelussa edetään kytkennän suunnitteluun, täytyy laitteelle valita ensimmäisenä laitekotelo. /1/

Kun kysymyksessä ovat pienet tuotantomäärät, kannattaa valmistuksessa pyrkiä käyttämään standardikoteloita valukoteloiden sijasta. Kotelon värin, muodon ja koon rajoitukset asettaa yleensä laitteen tilaaja. Prototyyppiä valmistettaessa kotelolla ei ole välttämättä suurta merkitystä, jos prototyyppillä on tarkoitus testata vain kytkennän sähköistä toimivuutta eikä mallintaa kokonaan valmista laitetta. /1/

Laitekoteloa valittaessa on syytä kiinnittää huomiota kotelon materiaaliin. Metallikotelolla on parempi mekaaninen kestävyys kuin muovikotelolla, ja sen ulkopintaa voidaan käyttää tehokomponenttien jäähdytykseen. Metallikotelo on myös häiriötasojen kannalta parempi valinta kuin muovikotelo. Muovikotelon etuna taas on hyvä sähköinen erityis ja keveys. Muovikoteloa on myös helpompi muokata kytkimien ja liittimien kiinnitystä varten kuin metallikoteloa. Metallikotelot vaativat lähes aina pintakäsittelyn suojaamaan niitä korroosiolta. Muovikoteloiden valmistusaineista polykarbonaatti ja ABS ovat amorfisia kestopuoveja. Polykarbonaatista valmistettu kotelo on täysin eristävä ja korroosionkestävä. Siitä valmistetut kotelot sopivat erinomaisesti ulkokäyttöön, koska ne suojaavat elektroniikkaa hyvin kosteudelta. ABS-muovista valmistetut kotelot sen sijaan sopivat paremmin sisätiloissa käytettäviin laitteisiin. /1/

Laitekoteloa valittaessa on kiinnitettävä huomiota myös mahdolliseen tulipalorisktiin. Tehokkaiden komponenttien pintalämpötila saattaa nousta hyvin korkeaksi. Metallikotelo on näin ollen turvallinen valinta, koska se rajaa palon kotelon sisälle. Mikäli päädytään käyttämään muovikoteloa, kannattaa käyttää PVC- tai ABS-muovisia koteloida, jotka eivät ylläpidä palamista. /1/

Koteloa valitessa tulee kiinnittää huomiota myös laitteen käyttöön ja valita laitteelle laitekotelo, jossa on riittävät IP- ja IK-kotelointiluokitukset. Koteloa valitessa on otetta-

va huomioon myös sähköturvallisuus. Moninaiset standardit sanelevat vaatimukset laitteen käyttöturvallisuudesta. /1/

Kun kotelo on valittu, voidaan siihen sijoittaa piirrosten avulla esimerkiksi CAD-ohjelmaa käyttäen tarvittavat mekaaniset osat. Sijoitteluehdotuksissa tulee pitäytyä vaikiintuneissa standardeissa. Näitä ovat muun muassa liittimien ja kytkimien selkeä sijoittelu, virtakytkimen sijoittelu etupaneelin jompaankumpaan reunaan tai tarvittaessa takapaneeliin sekä näyttöjen ja näppäimistöjen sijoittelu käyttömukavuuden ehdoilla. Tärkeintä on, että hyvin suunnitellun laitteen käyttöliittymälle on helppo tehdä ohjeet. Hyvä laite ei tarvitse edes välttämättä käsikirjaa sen toiminnan ymmärtämiseksi. /1/

2.2 Kytkennän suunnittelu

Laitteen elektronisen kytkennän suunnittelu aloitetaan tutkimalla, onko ongelmaan valmiita ratkaisuja, joita voidaan soveltaa. Jos valmiita ratkaisuja ei löydy, aletaan selvittää, minkälaisia komponentteja on saatavilla. Useita komponenttityyppejä on saatavissa vain hyvin suurissa erissä. Komponenteista on hankittava tässä vaiheessa datalehdet, joissa on komponenttien kaikki tiedot. Vaikka datalehdet löytyvät nykyään suurimmaksi osaksi vaivattomasti Internetistä, ne on hyvä kerätä yhteen kansioon, josta ne ovat helposti aina saatavilla. Näin työtä tulee samalla dokumentoitua. /1/

Tämän jälkeen kytkennästä tehdään piirikaavio erityisesti tätä tarkoitusta varten suunnitellulla elektronisella CAD-ohjelmalla. Samalla ohjelmalla voidaan useimmiten myös simuloida kytkentää, mutta kytkennästä voidaan joutua tekemään jo tässä vaiheessa erilaisia koekytkentöjä, joiden avulla varmistetaan komponenttien toiminta. Tämä menettelytapa on erityisen tärkeä etenkin monimutkaisten digitaalikomponenttien kanssa, koska datalehdet eivät ole aina täysin selkeitä. Kun kytkentä on suunnittelijan mielestä valmis, siirrytään piirilevyn suunnitteluun. /1/

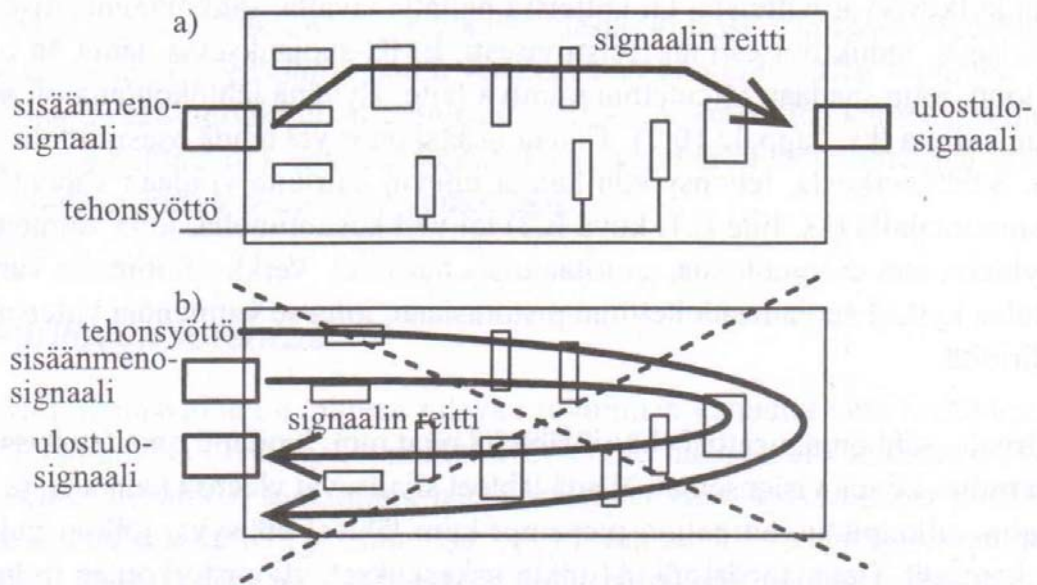
2.3 Piirilevyn suunnittelu

Piirilevyä suunniteltaessa on otettava huomioon muun muassa liittimien, kytkimien ja näppäimistöjen kytkentätapa itse piirilevyyn. Johtojen suoraa liittämistä piirilevyllä tulisi välttää, koska ne eivät pysy luotettavasti kiinni juotoskohdassaan. Liittimiä käyttämällä saadaan aikaan vedonpoisto, jolla taataan laitteen luotettava toiminta. Jos liittimiä tai kytkimiä kiinnitetään suoraan piirilevyllä, tulee kiinnittää huomiota siihen, että piirilevyyn tai juotokseen ei aiheudu liian suurta kuormitusta esimerkiksi kytkintä painettaessa. /1/

Ennen komponenttien ja johdotusten sijoittamista piirilevyllä on selvitettävä komponenttien tarkat mitat joko datalehdistä tai itse mittaamalla. Ongelmia aiheuttavat kondensaattorit, joiden fyysinen koko vaihtelee valmistajan, jännitekestoisuuden ja muiden tekijöiden vuoksi. Ongelmia aiheuttavat samasta syystä myös muut erikoiskomponentit, kuten kelat ja piirilevymuuntajat. /1/

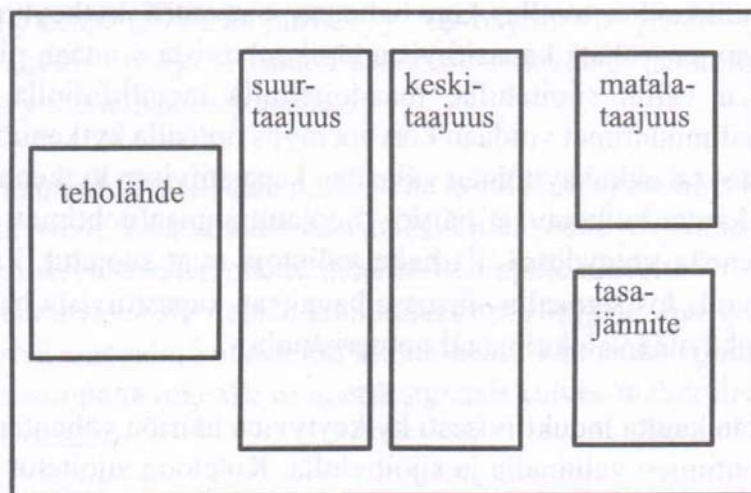
Piirilevyn suunnittelu toteutetaan tätä tarkoitusta varten tehdyllä CAD-ohjelmalla. Useilla kytkennän suunnittelussa käytetyistä CAD-ohjelmistoista voidaan tehdä myös piirilevyn suunnittelu. Suunnittelu aloitetaan piirtämällä piirilevyn ääriiviiva. Piirilevyn kokoa rajoittavat valittu kotelo sekä asiakkaan vaatimukset. Yleisesti on suositeltavaa käyttää standardimittaisia piirilevyjä. Piirilevyn kokoa voidaan suunnittelun lopussa pienentää mahdollisuuksien mukaan, jos komponentit ja johdotukset on saatu mahtumaan pienemmälle alueelle kuin alkuperäisessä suunnitelmassa. /1/

Jos kytkennässä on selvä signaalin kulkureitti, tulisi komponentit sijoittaa esimerkiksi vasemmalta oikealle, jotta signaali kulkee mahdollisimman suoraviivaisesti. Kuviossa 2 on a-kohdassa esitelty komponenttien oikea sijoittelutapa piirilevyllä. Kuvion 2 b-kohdassa komponentit on sijoitettu väärin, jolloin ongelmana voi olla signaalin läpikuluminen induktiivisen kytkennän kautta. Tehosyöttö on kuljetettava piirilevyllä mahdollisimman kaukana signaalitiestä. /1/



Kuvio 2. Komponenttien oikea ja väärä sijoittelutapa piirilevyllä /1/

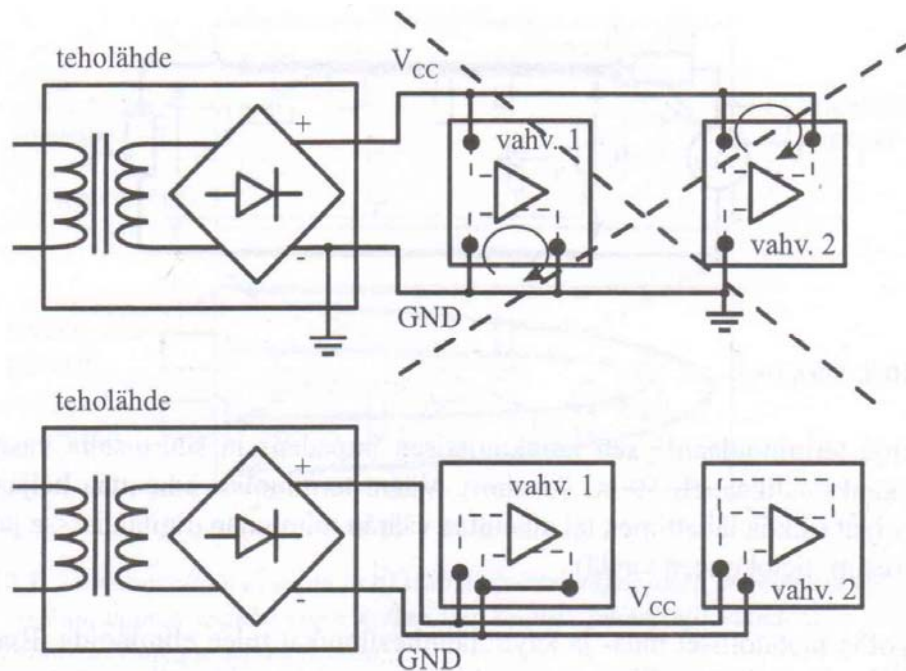
Laitteen suurtaajuusosat tulee sijoittaa piirilevyllä mahdollisimman lähelle teholähdettä. Kuviossa 3 on esitetty piirin osien sijoittelu taajuuden mukaan piirilevyllä.



Kuvio 3. Piirin osien sijoittelu piirilevyllä taajuuden mukaan /1/

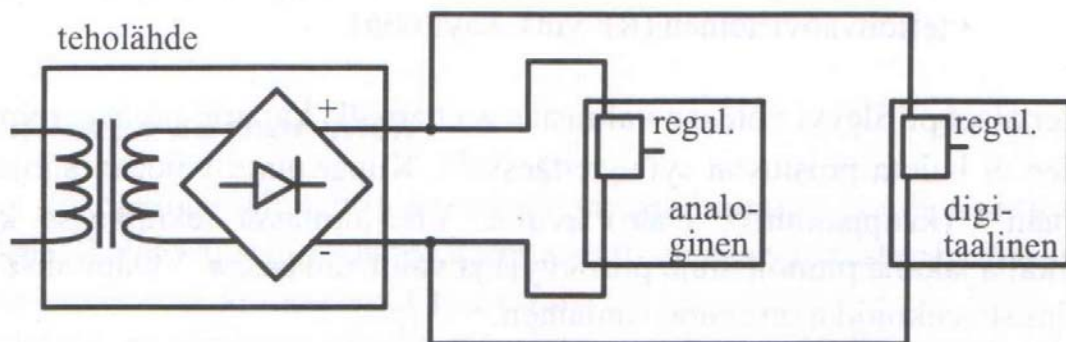
Tehonsyötössä mahdolliset maa- ja käyttöjännitesilmukat tulee eliminoida. Resistiivisesti kytkeytyvät häiriöt liittyvät tyypillisesti maadoitusvirheisiin. Kuvion 4 ylemmässä kuvassa käyttöjännite ja maadoitus on tuotu piirille väärin. Kuvion 4 alemmassa kuvassa käyttöjännite ja maadoitus on tuotu piirille oikein. Jos laite maadoitetaan kahteen eri pisteeseen, maapotentiaalierot aiheuttavat häiriövirran eri osien välille. Tämä häiriövirta

sotkee signaalin ja aiheuttaa mahdollisesti induktiivista ja kapasitiivista kytkeytymistä laitteessa. Kun maadoitus toteutetaan oikein, se tehdään aina vain yhteen pisteeseen. Jos jostain rakenteellisesta syystä maadoitus on tehtävä useampaan paikkaan, laitteen osat on erotettava toisistaan joko erotusmuuntajalla tai optoeristimillä. /1/



Kuvio 4. Maadoitus ja käyttöjännite tuodaan piirille vain yhdellä johtimella /1/

Jos piirillä on analogisia ja digitaalisia osia, pyritään niille järjestämään erillinen käyttöjännite reguloimalla käyttöjännitteet erikseen. Kuviossa 5 on esitetty periaatteellinen kuva analogisten ja digitaalisten osien käyttöjännitteiden reguloimisesta erikseen. /1/



Kuvio 5. Analogisten ja digitaalisten osien käyttöjännitteet tulisi reguloida erikseen /1/

Kun komponentit on sijoitettu piirilevyille, seuraavaksi tehdään niiden väliset johdotukset. Jos CAD-ohjelmassa on automaattinen johdotusrutiini, voi sitä käyttää. Usein sen tulos ei kuitenkaan ole riittävän hyvä, joten johdotuksia joudutaan korjailemaan käsivaraisesti siirtelemällä niitä sopiviin paikkoihin. Kun komponenttien sijoittelu ja johdotukset ovat valmiina, voidaan piirilevy valmistaa. /1/

2.4 Piirilevyn valmistus ja kalustaminen

Itse piirilevy voidaan valmistaa useilla eri tekniikoilla. Yksinkertaiset piirilevyt voidaan toteuttaa koekytkentälevyille, jolloin CAD-suunnittelua ei tarvitse tehdä. Pienet piirilevyerät voidaan valmistaa kolmella eri tavalla: piirilevy voidaan syövyttää itse, voidaan käyttää jyrshintätekniikkaa tai voidaan teettää piirilevyt ulkopuolisella toimittajalla. Pieniin eriin sopii parhaiten syövyttäminen, koska piirilevyn teettäminen ulkopuolisella on kallista. Yhden piirilevyn valmistaminen ulkopuolisella toimittajalla maksaa noin 300–400 euroa, mutta seuraavat samanlaiset piirilevyt maksavat jo huomattavasti vähemmän. Toimittajat laskuttavat erilliset työvaiheet erikseen, kuten reikien poraamisen ja tietokoneprosessoinnin. Vakiokokoiset piirilevyt ovat halvempia kuin erikoisvaiheita vaativat piirilevyt. Piirilevyjen valmistus jyrsimällä on myös kallista. Jyrshintätyöstölaitteen hankintakustannukset ovat noin 15 000–20 000 euroa. /1/

Kun laitteen piirilevy on valmiina, voidaan aloittaa sen kalustaminen. Kalustaminen kannattaa aloittaa matalista komponenteista ja edetä kohti korkeampia komponentteja. Ensin kannattaa sijoittaa passiiviset komponentit, kuten vastukset ja kondensaattorit, ja tämän jälkeen puolijohteet, kuten diodit, transistorit ja mikropiirit. Passiiviset komponentit ovat yleensä matalia, joten sijoittamalla ne ensimmäisenä saadaan piirilevystä siistin näköinen. Passiiviset komponentit kestävät myös aktiivisia komponentteja paremmin korkeita lämpötiloja, joten ne on turvallisempaa juottaa ensin kiinni. Ennen kuin valmis piirilevy kiinnitetään laitekoteloon, on tähän porattava tarvittavat reiät liittimille ja kytkimille. Kun reiät ovat valmiina, voidaan piirilevy kiinnittää laitekoteloon. Tämän jälkeen laite voidaan koestaa ja varmistaa sen oikea toiminta. /1/

2.5 Laitteen kokoaminen ja koestus

Reikien tekeminen laitekoteloon liittimiä ja kytkimiä varten kannattaa toteuttaa huolellisesti, koska ulkoinen olemus on usein ensimmäinen tekijä, jonka perusteella laitteen toimivuus arvioidaan. Kytkimien, liittimien ja merkkivalojen yhteyteen on asetettava merkinnät, jotka kuvaavat hyvin niiden toimintaa. Merkinnät voi tehdä monella eri tavalla, mutta tarrojen avulla ne onnistuvat helpoiten. /1/

Laitetta koottaessa tulee ottaa huomioon sen huollettavuus. Piirilevyjen ja akkujen kiinnitys tulee järjestää niin, että tärkeisiin osiin pääsee mahdollisimman helposti käsiksi. Jos kyseessä on teholaitte, on syytä järjestää riittävän hyvä tuuletus laitteen sisälle. /1/

Kun laite on koottu, voidaan suorittaa laitteen koestus. Siinä varmistetaan, että laite on turvallinen käyttää ja että sen toiminta täyttää sille asetetut vaatimukset. Kun monimutkaisia laitteita koestetaan, on syytä tehdä kunnollinen koestussuunnitelma ja selkeä dokumentointi laitteen toiminnasta koestuksessa. Digitaalisissa laitteissa kaikkien toimintakombinaatioiden testaaminen on usein mahdotonta. Tällöin riittää, että on valittu tarkoin olennaiset koestuskohteet. /1/

3 Prototyyppien valmistus

Tuotteiden lyhyt elinkaari lisää paineita saada uudet tuotteet tuotantoon entistä nopeammin. Tuotannon on siis käynnistyttävä ongelmitta ja varaa virheille ei ole. Varaa ei ole myöskään jälkikäteen tehtäville korjauksille, vaan kaiken olisi toimittava kerrasta. Tämä lisää painetta suunnitteluvaiheessa, ja sen takia on tarkistettava totut menetelmät, jotta voidaan täyttää kaikki suunnittelulle ja tuotannolle asetetut vaatimukset. Prototyyppien valmistamisen käytetyt nykyaikaiset menetelmät auttavat suunnittelua ja tuotantoa saamaan kaiken valmiiksi kerralla. /2/

3.1 Tuotekehityksen ongelmat

Tuotekehityksen järjestelmät ovat kehittyneet paljon viimeisen kymmenen vuoden aikana. Simulointi on helpottanut suunnittelua ja mahdollistanut lopullisen tuloksen varmentamisen. Erilaisten ohjelmistojen avulla voidaan myös liittää sähköiset ja mekaaniset osiot yhteen ja varmistua fyysisen ympäristön yhteensopivuudesta. Ohjelmistot eivät kuitenkaan ole erehtymättömiä, ja perinteinen prototyyppityön menetelmät ovat tarpeellisia myös sähköisten ja mekaanisten asioiden varmentamisessa. /2/

Tuotannossa uudet tuotteet aiheuttavat poikkeuksetta paineita. Valmistukseen tarvitaan testereitä ja jigejä, joiden valmistelulle jää aina vähemmän aikaa kuin itse tuotteen suunnitteluun. Näin ollen niiden toteuttaminen minimiajassa on haastavaa. Mitä monimutkaisempi tuote on, sitä enemmän monimutkaisia järjestelyjä vaaditaan. /2/

Nämä asiat olisi huomioitava jo prototyyppiä valmistettaessa. Helpotusta tuotteen siirtämisessä tuotantoon tuo verkostoituminen ja alihankkijoiden käyttö. Oikean jakautuman saavuttaminen oman prototyyppityön ja alihankkijalta ostettujen palvelujen välillä on kuitenkin vaikeaa. /2/

Prototyyppijä valmistettaessa on tärkeää keskittyä uuteen asiaan eikä mennä muokkaamaan valmiita ratkaisuja, jotka toimivat jo. Kun valmista toimivaa ratkaisua muutetaan, ajaututaan entistä kauemmas uuden tuotteen suunnittelusta, jos tämän vanhan ratkaisun

muokkaaminen ei ollut oleellista uuden tuotteen kannalta. Kun tuotekehityksessä tarvitaan lisää nopeutta, on järkevää harkita rinnakkaisten prosessien käyttöä. Tämä tarkoittaa sitä, että suunnitellaan sähköiset osat valmiiksi tulevaan mekaniikkaan, vaikka sitä ei vielä ole, ja tehdään muotoilu valmiiksi. Ongelmia on kuitenkin odotettavissa kun eri puolilla tehtyjä töitä sovitetaan yhteen. /2/

Piirilevyjen prototyyppien tekeminen suunnittelun yhteydessä lyhentää projektin työaikaa ja varmentaa työn lopputulosta mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Aina ei myöskään tarvita täydellistä toimivaa järjestelmää, vaan monesti riittää mitoiltaan oikea piirilevy, johon komponentit voidaan kiinnittää. Tällaista tuotetta kutsutaan nimellä ”dummy”. Joskus voi olla tärkeää testata jotain osakokonaisuutta. Tällöin tämä osakokonaisuus valmistetaan ja sovitetaan esimerkiksi haluttuun tulevaan mekaniikkaan. Mitä nopeammin yhteensopivuuden varmentaminen voidaan tehdä, sitä varmemmalla pohjalta projektin ja tuotteen valmistuminen on. /2/

3.2 Prototyypin suunnittelun ohjeita

Kun jollakin on tuoteidea, jolla voisi olla markkina-arvoa, kannattaa siitä valmistaa prototyyppi. Kun prototyyppi on valmis, voidaan se antaa tämän jälkeen konkreettisesti mahdollisten asiakkaiden tutkittavaksi. Samalla saadaan myös palautetta tuotteesta. Prototyyppiä suunniteltaessa on hyvä muistaa seuraavat ohjeet:

Kun prototyyppiä aletaan kehittää, kannattaa pitää mielessä, että ideat ovat ilmaisia. Prototyypin valmistus on helpoin tapa aloittaa mahdollisten asiakkaiden kanssa kanssakäyminen ja samalla testata idean arvo. Suunnittelu kannattaa aloittaa aluksi paperilta. Kun prototyyppiä aletaan kehittää, on hyvä muistaa, että ei kannata kiirehtiä suunnittelemaan koodia tai kytkentää liian nopeasti, koska liian nopeasti edennyt suunnittelu ilman tarkkaan harkittuja tavoitteita aiheuttaa vain harmia. Paperille suunniteltu idea on myös paljon havainnollisempi kuin pelkkä puhe ideasta. Paperilla olevasta suunnitelmasta asiat konkretisoituvat paremmin kaikille osapuolille ja palautteen antaminenkin helpottuu. Prototyypin valmistamiseen on kaksi hyvää syytä. Toinen on laitteiston ark-

kitehtuurin testaaminen ja toinen on konkreettisen laitteen valmistaminen asiakkaalle. Asiakkaan palautteen ja mielenkiinnon perusteella voidaan tuotteelle asettaa hinta. /9/

Laitetta suunniteltaessa kannattaa yrittää pitää modulaarisuus mielessä. Prototyyppi on hyvin onnistunut, kun suunnitteluvaiheessa on ennakoitu todennäköisyys muutoksien tekemiselle, jolloin prototyypin muokkaaminen vastaamaan asiakkaan tarpeita on nopeaa. Tämä on tärkeää myös siksi, että asiakkaat ovat lopulta niitä, jotka päättävät miten käyttävät tuotetta. Prototyyppi kannattaa suunnitella alusta alkaen niin, että sitä voidaan käyttää suoraan lopputuotteessa. Ihanteellinen tilanne on sellainen, jossa prototyyppi vastaa täysin lopullista tuotetta, mutta tässä onnistutaan erittäin harvoin. /9/

Prototyypin kustannuksiin ei kannata keskittyä liikaa alkuvaiheessa vaiheessa. Liian aikaisessa vaiheessa suoritettavat optimoinnit kuluttavat vain turhaan varoja. Kustannukset ovat tärkeä osa, mutta aluksi kannattaa keskittyä todistamaan tuotteen todellinen arvo asiakkaalle. Projektin alussa luoduille visiolle kannattaa pysyä uskollisena, koska prototyyppien tekemisessä suuntaudutaan usein liian helposti suunniteltaviin tuotteisiin kuin niihin, jotka aiheuttavat varsinaisen ahaa-elämyksen asiakkaalle. /9/

Tärkeintä prototyypin valmistuksessa on, että saadaan aikaiseksi tuote, jota voidaan helposti esitellä asiakkaalle. Esiteltäessä prototyyppiä on hyvä edetä mahdollisimman nopeasti itse tuotteen esittelyyn, koska useimpien ihmisten keskittymiskyky on alta 60 sekuntia. Prototyyppi on siis ehdittävä esittää toiminnassa tuossa ajassa, ennen kuin asiakkaat kyllästyvät. /9/

4 Työkalut prototyypin valmistukseen

Sujuvan työskentelyn ja hyvä lopputuloksen kannalta on olennaista, että prototyypin valmistajalla on käytössään kunnan työkalut ja apuvälineet. Näin on myös piirilevyjen valmistuksessa. Työympäristön täytyy olla hyvin valaistu. Sen lisäksi, että työpiste on hyvin valaistu, myös liikuteltavia työvaloja on hyvä olla, jotta työalue saadaan valaistua joka suunnalta. Liikuteltavaksi valaisimeksi sopii hyvin esimerkiksi työpöydän reunaan kiinnitettävä nivelöity valaisin, jonka voi asettaa sopivaan asentoon. Taskulamppu tai muu käsivalaisin on myös hyvä olla, jos tarvitsee tutkia jotain ongelma-aluetta piirilevytä tai etsiä lattialle pudonnutta komponenttia. /6/

Valaistuksen lisäksi varustukseen on hyvä kuulua suurennuslaseja. Suurennuslaseja voi tarvita useita erilaisia: kädessä pidettäviä suurennuslaseja, otsalle laitettavia suurennuslinssejä sekä mikroskooppeja. Näiden avulla on helppo varmistaa ja lukea osien numerot sekä koodit oikean osan juottamista varten. Mikroskooppia hankkiessa olisi hyvä varmistaa, että sen optiikka soveltuu piirilevyn tutkimiseen myös riittävän etäältä. Tämä mahdollistaa juottamisen ja muun työskentelyn samalla kun piirilevyä katsotaan mikroskoopin läpi. Okulaarien suurennuksen tulisi olla enintään 10-kertainen ja zoomin enintään 4-kertainen. Liian suuri zoomi aiheuttaa liian suuren suurennuksen, minkä vuoksi täytyy usein siirtää katse pois suurennuslasilta ja tarkastaa, mitä kohtaa piirilevystä ollaan juottamassa. /6/

Pienten osien käsittely vaatii pinsettejä, pihtejä ja ruuvimeisseleitä. Koska komponenttien fyysinen koko on koko ajan pienentynyt, on työkalujen laatu komponentteja työstettäessä erityisen tärkeää. Laadukkaiden pinsettien ja pihtien leuat toimivat kunnolla, eivätkä vääntyile väärään asentoon aiheuttaen komponenttien liikkumista tärkeällä hetkellä. Lisäksi on hyvä olla teline, johon piirilevyn saa tukevasti kiinnitettyä. Teline mahdollistaa piirilevyn pitämisen erilaisissa asennoissa työn helpottamiseksi. Kaikki työpisteellä olevat komponentit tulisi pitää hyvässä järjestyksessä, joten lokerikkoja kannattaakin varata komponenteille ja muistaa merkitä hyvin, mitä komponentteja mikäkin lokero sisältää. Tämä auttaa myös muita työntekijöitä löytämään oikean korvaavan komponentin helposti, jos piirilevytä on mennyt jokin komponentti rikki, eikä tekijä itse ole paikalla kertomassa, missä komponentit sijaitsevat. /6/

Tärkein työkalu on itse juotin, jonka valintaan kannattaakin käyttää paljon aikaa. Juotinaseman olisi hyvä olla lämpötilasäädettävä, koska käytössä on nykyään lyijyllisiä ja lyijyttömiä komponentteja ja juotostinoja. Näistä lyijyttömät vaativat hieman korkeamman lämpötilan, jotta niillä saadaan aikaiseksi hyvä lopputulos. Erilaisten juotoskärkien saatavuus kuhunkin juotinasemaan kannattaa varmistaa, koska erilaisille komponenteille voi tarvita erikokoisia kärkiä. Pintaliitoskomponenttien yleistyttyä kannattaa harkita myös pihtijuottimen hankintaa. Niillä voi helposti irrottaa pintaliitoskomponentteja piirilevyltä, mutta myös kiinnittää niitä. Kuviossa 6 on kuva pihtijuottimesta. /6/



Kuvio 6. Pihtijuotin pintaliitoskomponenttien liittämistä varten. /4/

Komponenttien irrottaminen piirilevyltä on usein kiinnittämistä vaikeampaa. Irrottamista varten on hyvä olla imusukkaa, tinaimuri sekä fluxia. Kun fluxia levitetään irrotettavan komponentin juotetun kohdan päälle, liitoskohta nousee kapillaari-ilmiön ansiosta ilmaan ja irrottaa komponentin piirilevystä. Fluxia voidaan käyttää samalla tavalla myös puhdistamaan jo irrotetun komponentin kiinnityskohta ylimääräisestä tinasta ennen uuden komponentin juottamista. /6/

5 Prototyypin valmistuksen erilaiset tekniikat

Kun aletaan valmistaa prototyyppiä, on olemassa useita erilaisia tekniikoita, joita voidaan käyttää. Eri tekniikoilla on erilaisia hyviä puolia, mutta osalla on myös ratkaisevia rajoitteita. Rajoitteet voivat olla sähköistä toimivuutta koskevia, mutta myös kustannuksia koskevia. Usein uuden tuotteen prototyyppi voi koostua useilla erilaisilla tekniikoilla valmistetuista piirilevyistä. Nopeat digitaaliset piirit vaativat piirilevyiltä erilaisia asioita kuin analogisia komponentteja käytettäessä.

5.1 Prototyypin valmistus Dead bug -menetelmällä

Dead bug -tyylin nimitys tulee piirilevyn ja komponenttien asennuksesta piirilevyille. Komponentit asennetaan ylösalaisin piirilevyille, ja näin esimerkiksi IC-piirit näyttävät piirilevyllä kuolleilta ötököiltä, ”dead bug”, joiden jalat ovat ylöspäin. Kuviossa 7 on esiteltynä dead bug -tyylillä rakennettu prototyyppi. Kuvasta erottuu rakennustavan aiheuttama sotkuisuus kytkennässä ja kuolleita ötököitä muistuttavat komponentit. Tämä rakennustyyli soveltuu erityisesti herkille kytkennöille, joiden johtimien välinen kapasitanssi tarvitsee saada mahdollisimman pieneksi. Komponentit juotetaan suoraan kiinni toisiinsa käyttämättä erikseen johtimia. Kuviossa 8 on periaatekuva komponenttien juottamisesta toisiinsa tällä tekniikalla. /5/



Kuvio 7. Dead bug -tyylillä rakennettu prototyyppi /5/



Kuvio 8. Komponenttien kiinnitystapa toisiinsa dead bug -tyylissä /5/

Kun rakennetaan dead bug -prototyyppiä, komponentit tulee kiinnittää ainakin väliaikaisesti piirilevylle ylösalaisin. Kiinnityksen voi tehdä hammastikun ja pikaliiman avulla. Hammastikulla levitetään hieman liimaa komponentin koteloon ja tämän jälkeen se asetetaan piirilevylle. Komponenttien kiinnitys piirilevylle helpottaa komponenttien juottamista toisiinsa. Alustaksi rakentamiseen käy mikä tahansa materiaali. Yksinkertaisimmillaan alustana voi käyttää pahvia, mutta tukevamman materiaalin käyttäminen on suositeltavaa, jotta levy olisi fyysisesti kestävämpi. Alustaksi parhaiten soveltuu etsaamaton piirilevy, jonka kuparipintaa voidaan käyttää kytkennän maatasona. Käytettäessä etsaamattoman piirilevyn kuparipintaa maatasona saadaan maatasen impedanssi hyvin pieneksi, koska maajohtojen välimatka on hyvin lyhyt. /7/

Aseteltaessa komponentteja alustalle on mahdollista sijoittaa komponentit vastaamaan kytkentäkaaviota. Tämä helpottaa huomattavasti kytkennän hahmottamista suunnittelusta, ja mittausten tekeminen prototyypistä on myös helpompaa. /7/

Kun prototyyppi on mitattu ja testattu toimivaksi, kytkennän mekaaninen kestävyys voidaan varmistaa lopullisesti. Prototyyppi sijoitetaan sopivaan koteloon ja varmistetaan että halutut johdot ja liittimet tulevat kotelon ulkopuolelle halutulla tavalla. Tämän jälkeen kotelo täytetään epoksilla, polyesterilla tai polyuretaanilla ja annetaan käytetyn aineen kuivua kunnolla. Näin kytkennän liittokset suojataan lopullisesti mekaaniselta rasitukselta. Ainoa huono puoli on se, että tämän jälkeen kytkentään ei ole mahdollista tehdä minkäänlaisia muutoksia. Onkin ensiarvoisen tärkeää miettiä tarkasti, haluaako varmistaa liitosten kestävyys näin järeällä toimenpiteellä. /7/

Dead bug -tyylin etuja rakennettaessa on erinomainen maataso, jos alustana käytetään johtavaa materiaalia, esimerkiksi syövyttämätöntä piirilevyä, jonka kuparipuolelle komponentit kiinnitetään. Hyvä maataso mahdollistaa korkeataajuisten analogiakytcentöjen rakentamisen. Tyyli mahdollistaa myös monimutkaisten kytkentöjen toteuttamisen

kompaktina. Hyvänä ominaisuutena on myös luotettavuus ja erittäin edullinen valmistustapa. Kytkennän rakentaminen kiinteästi piirilevyille liiman avulla tekee piirilevystä myös kestävästä mekaaniselle rasitukselle. /5/

Dead bug -tyylin huonona puolena on sen vaatima korkea juottamistaito, koska komponentit ovat hankalasti sijoiteltuna ja ne tulee juottaa suoraan kiinni toistensa jalkoihin suoraan. Ilmassa olevien komponenttien juottaminen toisiinsa on tarkkaa ja aikaa vievää työtä. Juottaessa tulee olla myös tarkkailla, että roiskeet eivät aiheuta oikosulkuja eihaluuttuihin kohtiin. Huonona puolena on myös prototyypin pitkä rakennusaika ja komponenttien mekaanisen rasituksen kestävyys, jota voidaan parantaa liimaamalla komponentit alustaan. Kytkennät muodostuvat tämän tekniikan avulla sotkuisen näköisiksi, joten on helpointa jaotella kytkentä omiin lohkoihinsa tai muuhun vastaavaan pienempään kokonaisuuteen ja rakentaa näistä jokaisesta oma dead bug -prototyyppi. Jokainen lohko kannattaa testata myös omana kokonaisuutenaan ja tämän jälkeen yhdistää lopulliseksi testattavaksi laitteeksi. /5/

Jokainen dead bug -tyylillä valmistettu prototyyppi on yksilöllinen, joten tekniikka ei sovellu käytettäväksi silloin, kun prototyyppikappaleita tarvitaan useampia samanlaisia. Kytkennän rakennustavan takia prototyyppiin on erittäin hankalaa vaihtaa komponentteja jälkeinpäin vioittuneen tilalle tai testimielessä. Yksittäisten passiivisten komponenttien vaihtaminen käy melko helposti, mutta monijalkaisten IC-piirien irti juottaminen ja uuden laittaminen tilalle on erittäin hankalaa. Mikäli komponentit on liimattuna maatasoon, niiden irrottaminen on myös vaikeaa vahingoittamatta piirilevyä.

5.2 Prototyypin valmistus verolevyille

Verolevy on normaalia lasikuitulevyä, jonka toinen puoli on valmiiksi joko nauha- tai täpläkuparoitu. Verolevyllä on valmiiksi reiät komponentteja varten. Reiät ovat riveittäin ja reikävälinä on komponenttien vakiojalkaväli eli 100 milsiä. Nauhakuparoidussa verolevyssä jokainen rivi on kuparoitu, mutta yhteyttä ei ole viereiseen riviin. Tämän vuoksi kytkentää tehdessä tarvitsee tehdä hyppylankoja, jotta kytkentä saadaan halutuksi. Täpläkuparoidussa verolevyssä jokainen täplä on itsenäinen eivätkä täplät ole säh-

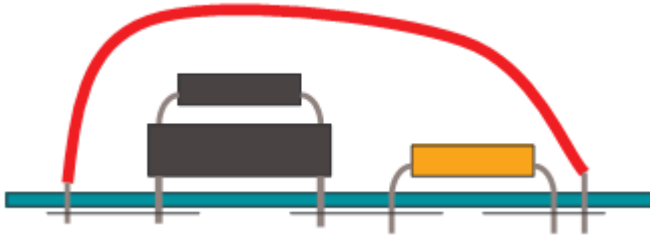
köisessä yhteydessä toisiinsa. Tämän vuoksi kaikki yhteydet komponenttien välillä on tehtävä hyppylangoilla. Koska nauhakuparoidussa verolevyssä kokonaiset rivit ovat kuparoituja, tarvitsee piirilevyille tehdä katkoksia oikosulkujen poistamiseksi. Katkoksia voidaan tehdä poran avulla tai katkaisemalla kupari mattoveitsellä tai muulla terävällä esineellä. Poran avulla katkoksen tekeminen on huomattavasti helpompaa. Poratessa katkos on myös helpommin havaittavissa, koska katkos on myös visuaalisesti selkeästi nähtävissä. Mattoveitsellä tehdyssä katkoksessa oikosulun pysymisen riski on suurempi, koska terä on kapeampi ja kuparin katkaisu vaatii voimaa. Kuviossa 9 on esitelty mattoveitsellä ja poralla tehdyt katkokset nauhakuparoituun verolevyyn. /11/



Kuvio 9. Nauhakuparoitu verolevy, johon on tehty katkos mattoveitsellä ja poralla /11/

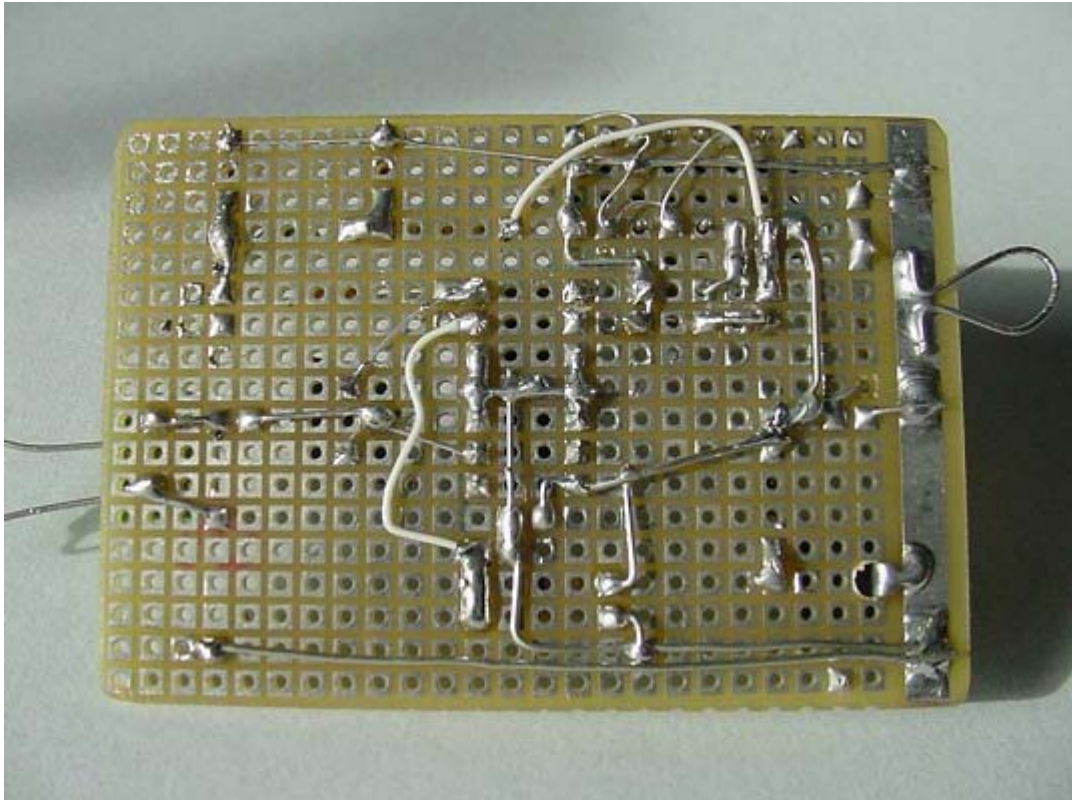
Kytkenän toteuttaminen verolevyille tekee kytkennästä kestävä, koska kaikki komponentit on juotettu piirilevyille ja piirilevymateriaali on vahvaa. Hyppylankoihin käytettävien johtimien valintaan tulee kiinnittää huomiota rakennettaessa kytkentää verolevyille. Kytkennän virrankulutus tulee huomioida johtimessa myös, koska kuparointi on valmiiksi leveää ja mahdollistaa suurien virtojen käytön kytkennässä. Koekytkentäalustoissa usein käytettyä johdinta tulisi välttää verolevy-käytössä, koska johtimen eriste on hyvin ohutta ja sulaa erittäin helposti juotettaessa johdinta piirilevyille. Eristeen sulaminen lisää huomattavasti oikosulkujen riskiä. Kuviossa 10 on esitelty johdotustapa komponenttien kiinnitykseen verolevyille. Täpläkuparoidussa verolevyssä hyppylangat sijoi-

tetaan usein piirilevyn kuparoidulle puolelle juottamalla hyppylangat kiinni suoraan haluttujen komponenttien jalkoihin. /3/



Kuvio 10. Kytkentätapa komponenttien kiinnittämiseksi verolevyllä /5/

Komponenttien hyvin valitulla sijoittelulla verolevyllä saadaan tehtyä helposti tinasiltoja, jotka helpottavat kytkennän rakentamista. Normaalisti tinasiltoja tulee välttää, mutta verolevyn mahdollistaman rakenteen vuoksi viereisten rivien väliin kannattaa tarvittaessa tehdä tinasiltoja. Tämän ansiosta kytkentä saadaan mahtumaan pienelle alueelle. Kuviossa 11 on esitelty täpläkuparoidulle verolevyllä tehdyn kytkennän johdotus. /3/



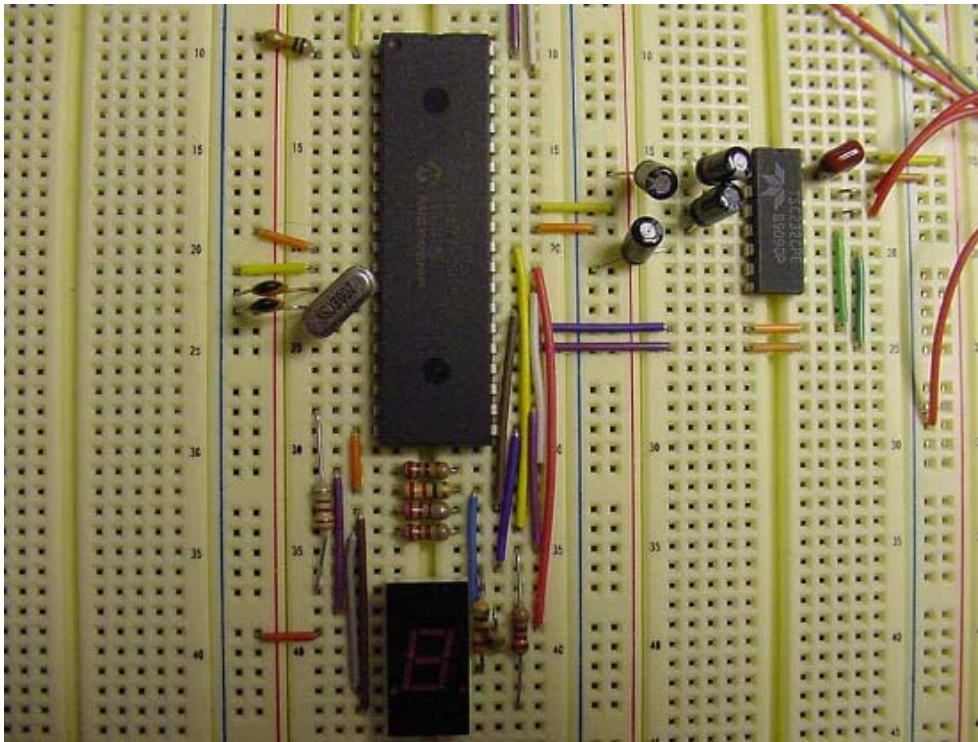
Kuvio 11. Täpläkuparoidulle verolevyllä tehdyn kytkennän johdotus hyppylangoilla /3/

Verolevyille kytkentöjen tekeminen on helppoa standardin mukaisen komponenttien jalkavälin vuoksi. Kytkennoistä tulee myös fyysisesti kestäviä, koska komponenttien kiinnitys on tukeva juottamisen ansiosta ja alustamateriaali on vahvaa. Kytkentä voidaan näin ollen helposti valmistaa pysyväksi. Erityisesti nauhakuparoitu verolevy tarjoaa hyvän ja selkeän maataason, kun valitaan yksi riveistä pelkästään maatasoa varten. Verolevyn hankintakustannukset ovat alhaiset ja levyjä löytyy valmiina useita eri kokoja. Levyjä voidaan myös katkaista pienemmäksi tarpeen mukaan. /5/

Verolevyn heikko puoli on kytkennän sekavuus. Kytkentää on vaikea optimoida selkeän näköiseksi kokonaisuudeksi pienelle alalle. Täpläkuparoidun verolevyn hyppylangat aiheuttavat kytkennän vaikean seuraamisen. Verolevyn suuret padit saattavat aiheuttaa ylimääräistä kapasitanssia kytkentään. Usein tämä kapasitanssin määrä ei kuitenkaan ole haitallisen suuri. Ongelmaksi saattaa aiheutua myös suurien komponenttien asettaminen verolevyille. Erityisesti erikoiset komponentit, joilla on suuri fyysinen koko, on hankala saada sijoitettua verolevyille komponenttien jalkojen suuren koon vuoksi. /5/

5.3 Prototyypin valmistus koekytkentäalustalle

Koekytkentäalusta on muovinen reikälevy, jossa on rinnakkaisia rivejä yhdistettynä toisiinsa. Yksi rivi on sähköisessä yhteydessä kokonaisuudessa toisiinsa ja komponentit kytketään näiden rivien avulla. Onkin tärkeää tutustua hankkimansa koekytkentäalustan rakenteeseen ennen kuin sille alkaa rakentaa kytkentää, koska toisiinsa yhteydessä olevien rivien logiikka vaihtelee eri valmistajien kesken. Koekytkentäalustassa olevien reikien väli on yleinen komponenttien jalkavälikoko eli 100 milsiä. Komponentit kiinnitetään alustaan painamalla komponentit haluttuun kohtaan levyttä. Tämän jälkeen johdot yhdistyvät kytkettyyn komponenttiin automaattisesti levyn sisällä. Kuviossa 12 on esitelty koekytkentäalusta, jossa on toteutettu koekytkentä. Kuviosta huomataan myös useiden hyppylankojen tarve pienissäkin sovelluksissa. /3/



Kuvio 12. Prototyypä toteutettuna koekytkentäalustalle /3/

Koekytkentäalusta mahdollistaa kytkentöjen toteuttamisen nopeasti ilman juottamista. Kytkentää on myös helppo muokata, koska komponentteja ei tarvitse juottaa alustaan kiinni. Alustojen hinnat ovat huomattavasti korkeampia kuin tavallisten verolevyjen hinnat. Alustoja voidaan kuitenkin käyttää uudestaan useita kertoja, mikä laskee hintaa kytkentää kohden. Kiinnityskontaktit komponentteihin kuitenkin löystyvät ja heikentyvät helposti useiden käyttökertojen jälkeen, mikä voi aiheuttaa katkoksia kytkennöissä. Alustoja ei ole mahdollista korjata, joten kun katkoksia alkaa esiintyä, on alusta sen jälkeen romua. /3/

Alustan ominaisuutena on suuri kapasitanssi viereisten rivien välillä, jopa 2-5 pF. Tämä heikentää alustojen soveltuvuutta korkeataajuisien kytkentöjen valmistamisessa. Tämä saattaa aiheuttaa myös ongelmia siirrettäessä kytkentää lopulliseen muotoonsa erikseen tuotantoa varten suunnitellulle piirilevyille, koska kapasitanssi ei olekaan sama jokaisessa liitoskohdassa. Koekytkentäalustojen luotettavuus ei ole paras mahdollinen, joten niitä suositellaankin käytettäväksi vain laboratorioiden testauksiin. Komponentit ja hypylangat saattavat myös helposti irrota alustasta, jolloin ne aiheuttavat ylimääräisiä ongelmia. Näin ollen koekytkentäalusta soveltuu hyvin prototyyppien tutkimiseen, mutta pysyvää kytkentää sille ei kannata rakentaa. Alustalle mahtuvan kytkennän koko on

myös hyvin rajallinen, mutta levyjä voidaan hyppylangoilla yhdistää toisiinsa. Tämä tosin lisää kytkennän vaikeaselkoisuutta. /5/

Alustan rakenne on hankala, jos toteutettavassa kytkennässä on käytössä väyliä tai muita mutkikkaita rakenteita. Johdotuksia joudutaan tekemään useilla eri hyppylangoilla, joten kytkennästä saattaa tulla hyvin sekavan näköinen ja vaikeaselkoinen. Kytkennän mittaaminen hankaloituu tällöin huomattavasti. Levyille on myös hankala sijoittaa muita kuin 100 milsin jalkavälillä olevia komponentteja. Komponenttien jalkojen paksuus ei myöskään saa olla suuri, maksimissaan 32 milsiä. /5/

5.4 Prototyypin valmistus wire-wrap-menetelmällä

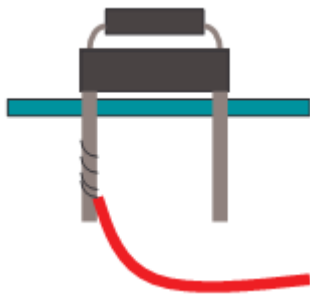
Wire-wrap-tekniikassa komponentit on asetettu erityisiin IC-kantoihin. Kannoissa on pitkät jalat, joihin johdotukset tehdään. Johdotukset tehdään erittäin ohuella johtimella, jota on kuorittu reilusti. Johdin kiinnitetään erityisellä työkalulla IC-kantojen jalkoihin pyörittämällä ja komponenttien välille johdin vedetään kireäksi. Kuviossa 13 on esitelty wire-wrap-tekniikalla valmistettu kytkentä. /3/



Kuvio 13. Wire-wrap-tekniikalla valmistettu kytkentä /3/

Kytken­nän tekeminen on helppoa kyseistä tekniikkaa varten suunnitellulla moottoroidulla kiinnitystyökalulla. Työkalu kuorii johtimen valmiiksi ja kiinnittää sen IC-

kannan ympärille. Tätä valmistustekniikkaa varten on saatavilla myös manuaalinen työkalu, mutta sen käyttäminen on huomattavasti hankalampaa, koska johtimet täytyy itse kuoria ja lyhentää sopivan mittaisiksi. Kuviossa 14 on esitelty kuva johtimen kiinnityksestä IC-kantaan wire-wrap-tekniikassa. Johtimien irrottaminen onnistuu moottoroidulla työkalulla. Usein samassa IC-kannassa on kuitenkin useita eri johtimia, joten irrottaminen on hankalaa. Johtimen vaihtamista varten saatetaan joutua irrottamaan useita muitakin johtoja, jolloin on vaarana liittimien liiallinen taipuminen ja katkeaminen. Tämän vuoksi johdotusten irrottamista ei suositella. /3/



Kuvio 14. Wire-wrap-tekniikassa johtimen kiinnitys IC-kantaan /5/

Wire-wrap-tekniikan etuna on nopea valmistustapa. Tekniikan avulla voidaan tehdä mutkikkaita kytkentöjä tiiviisti. Johtimien kiinnitys IC-kantojen jalkoihin takaa luotettavan kiinnitystavan. Koska johtimet kiinnitetään pyörittämällä, ei johdotusten tekemiseen tarvita ollenkaan kolvia. /5/

Wire-wrap-tekniikka ei salli suurten virtojen käyttämistä vaan ne rajoittuvatkin yleensä muutamisiin satoihin milliampeereihin. IC-kantojen jalat aiheuttavat myös suuren resistanssin ja induktanssin kytkentään. Resistanssi on 0,1 ohmia ja induktanssi 0,25 μH jalkaa kohden. Erikoiset IC-kannat ovat kalliita hankintahinnaltaan ja soveltuvat vain digitaalipiirien kanssa käytettäväksi. Jos halutaan käyttää diskreettejä komponentteja, kuten vastuksia, kondensaattoreita ja transistoreita, on ne juotettava ensin liittimeen joka voidaan kiinnittää IC-kantaan. /5/

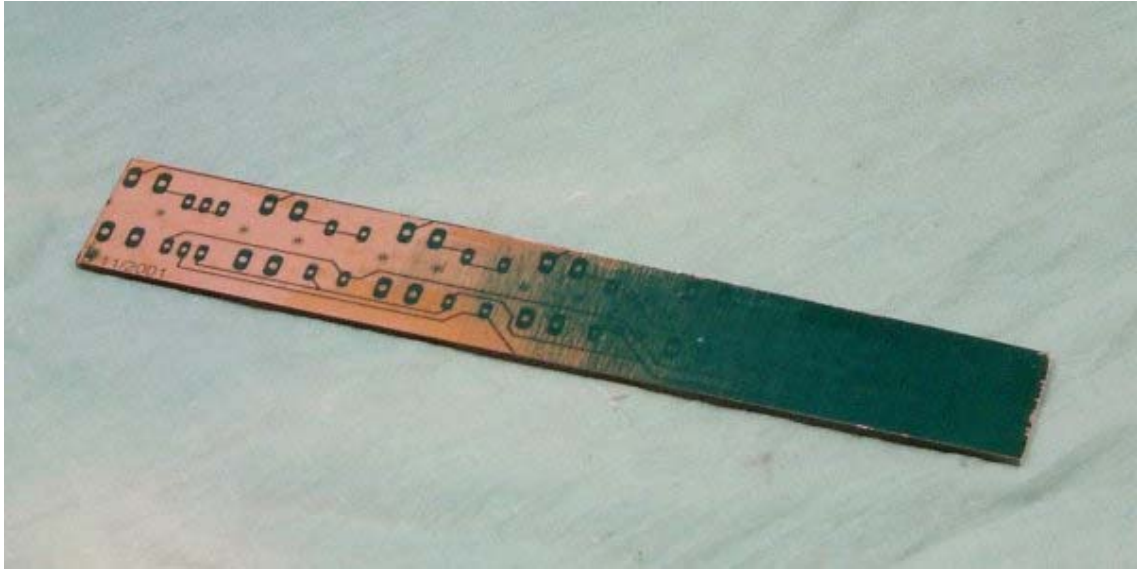
5.5 Prototyypin valmistus omavalmisteiselle piirilevyllä

Valmistettaessa piirilevy itse saadaan kytkentään tarvittava piirilevy juuri sellaiseksi kuin itse halutaan. Valmistettaessa piirilevy kokonaan itse tarvitaan enemmän tarvikkeita kuin muissa valmistustavoissa. Piirilevyjä löytyy sekä yksi- että kaksipuolisia. Kuparikerros on kokonaan näin ollen joko vain piirilevyn toisella puolella tai molemmilla puolilla. Piirilevystä poistetaan ylimääräinen kupari syövyttämällä. Piirilevyt kannattaa valmistaa aluksi yksipuolisiksi, jos valmistustekniikka ei ole tuttu. Kaksipuolisen piirilevyn valmistus on hankalampaa kuin yksipuolisen. Kaksipuolisessa piirilevyssä komponentti joudutaan juottamaan kiinni levyn molemmille puolille, koska puolten välillä ei ole kontaktia. /8/

Valmistettaessa piirilevy itse on syövyttäminen helpoin tapa piirilevyn ylimääräisen kuparin poistoon. Syövytettäessä piirilevyä eristetään johtimet ja juotostäplät syövytysaineesta. Tämän voi tehdä usealla tavalla. Yksinkertaisimmat piirilevyt voidaan toteuttaa piirtämällä kuparin pintaan Decon-Dalo-kynällä haluttu kytkentä. Kynän muste suojaaa alla olevan kuparin syöpymiseltä. Valmistukseen voidaan käyttää myös teipin avulla tehtäviä maskeja, mutta isoimpien projektien toteutukseen kannattaa käyttää valotusmenetelmää. Valotusmenetelmän maski saadaan suunnittelemalla CAD-ohjelmalla haluttu kytkentä ja tulostettua se esimerkiksi piirtoheitinkalvolle. Tulosteen tulee olla mahdollisimman tumma, jotta valotus onnistuu hyvin. /8/

Piirilevyn valmistuksessa valotusvaihe on erittäin tärkeä. Liian lyhyt valotusaika jättää levyllä ylimääräistä kuparia ja liian pitkä valotusaika aiheuttaa johtimien liiallista syöpymistä. Valotusmaski kiinnitetään ylösalaisin valotuksen ajaksi piirilevyyn. Kiinnitys tapahtuu ylösalaisin sen vuoksi, että saadaan kytkentä todellisuudessa piirilevyllä oikein päin eikä peilikuvana. Valotukseen tarvitaan ultravioletivaloa, jota saadaan esimerkiksi loisteputkivalaisimista. Valotusta varten on saatavissa myös erityisiä valotuslaitteita, joka on paras vaihtoehto hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi. Sopivan valotusajan etsimistä varten kannattaa valmistaa testipiirilevy, jota valotetaan eri aikoja. Testipiirilevyä valotetaan 10 sekuntia kerrallaan ja tämän jälkeen sitä vedetään valotuslampun alta pois muutama sentti. Valotuksen jälkeen testipiirilevy kehitetään ja päätellään sopi-

va valotusaika. Kuviossa 15 on esitelty vyöhykkeittäin valotettu testipiirilevy, jonka avulla selvitetään sopiva valotusaika. /8/



Kuvio 15. Vyöhykkeittäin valotettu testipiirilevy /8/

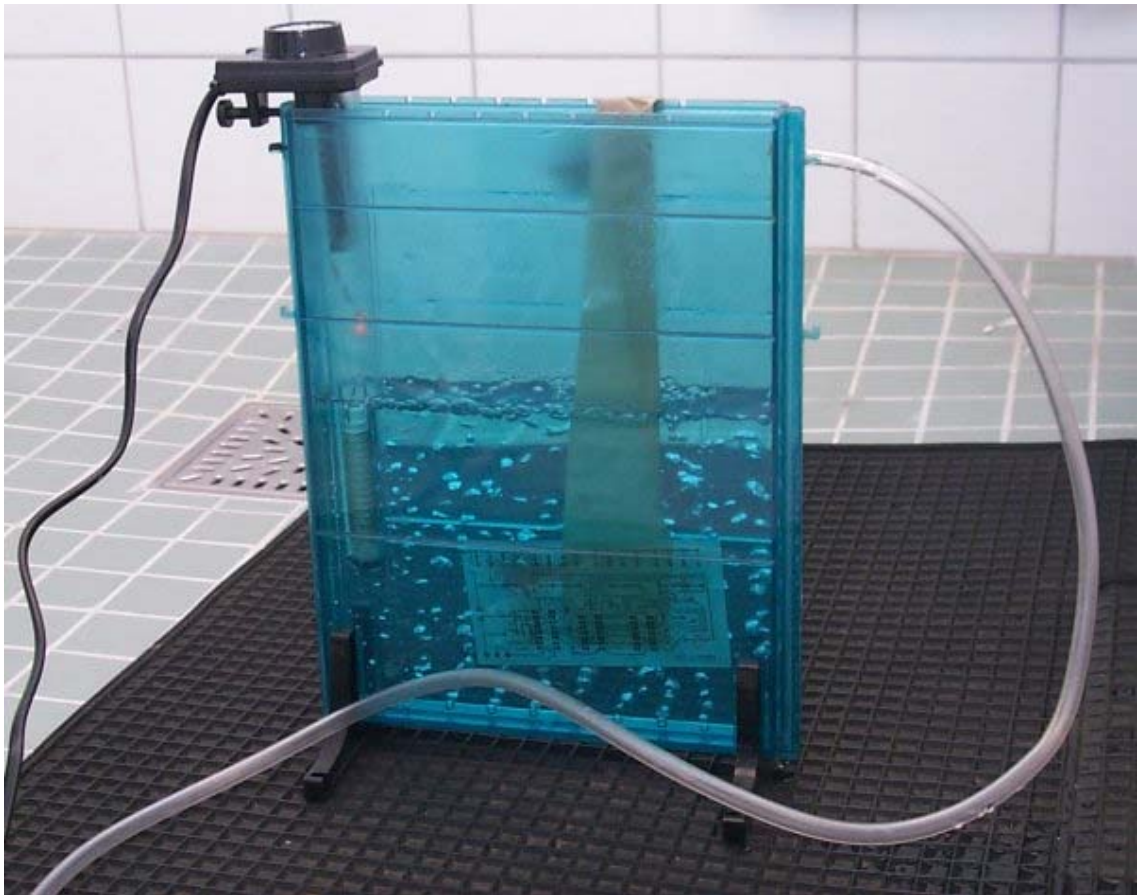
Valotuksen jälkeen piirilevy kehitetään. Kehityksen aikana piirilevyn valoherkästä lakkakerroksesta poistuu kytkennän ulkopuolelle jäävä osa. Astiaksi kehitykseen soveltuu mikä tahansa vesitiivis astia, kunhan piirilevy mahtuu sen sisään kokonaan ja piirilevyä voidaan vielä liikuttaa astiassa hieman. Kehityksessä käytetään emäksistä natriumhydroksidi-liuosta eli lipeäliuosta. Elektroniikkaliikkeistä on saatavissa valmista kehitysjauhetta, joka sekoitetaan kädenlämpöiseen veteen. Kehitettäessä piirilevyä on lipeäliuokselta suojauduttava suojakäsineillä. Kehitettäessä piirilevyä kannattaa se sijoittaa kuparipuoli ylöspäin, jotta kehityksen edistymistä voidaan seurata. Kehitys on valmis kun lakkakerros on poistunut muualta kuin johdinten ja juotostäplien kohdalta. Liian pitkä kehitysaika aiheuttaa johtimiin katkoksia ja liian lyhyt kehitysaika jättää levyllä ylimääräistä pinnoitetta. Kehitetty piirilevy huuhdellaan kehityksen jälkeen runsaalla vedellä ja varmistetaan valotuksen ja kehityksen onnistuminen. Kuviossa 16 on esitelty kehitysvaihe, jonka aikana piirilevyn pinnasta poistuu ylimääräinen lakkakerros. Levyä on hyvä liikutella kehityksen aikana kehityksen tehostamiseksi. /8/



Kuvio 16. Piirilevyn kehitysvaihe, jossa piirilevyltä poistetaan ylimääräinen lakkakerros /8/

Kehityksen jälkeen piirilevy syövytetään. Syövyttävänä aineena käytetään yleensä ferrikloridia. Ferrikloridi on voimakkaasti tahraavaa, joten vaatteiden ja ympäristön suojaus on suositeltavaa. Toisena syövyttävänä aineena käytetään usein natriumpersulfaattia, joka on käyttöomaisuuksiltaan hieman ferrikloridia helpompaa. Käytettäessä natriumpersulfaattia on suojaus myös suositeltavaa. Molempia aineita löytyy valmiiksi annosteltuina elektroniikkaliikkeistä. /8/

Syövytyksen aikana piirilevyä tulee myös liikutella. Syövytys tapahtuu huomattavasti nopeammin, jos liuos pidetään 50 asteen lämpötilassa. Syövytystä varten on olemassa altaita, joissa on termostaattiohjattu lämmityselementti. Altaissa voi olla myös ilmapumppu, jolla altaan pohjasta ohjataan ilma sekoittamaan liuosta. Ilmapumpun avulla voidaan korvata käsin tapahtuva piirilevyn liikuttelu. Kuviossa 17 on esitelty piirilevyn syövytykseen käytetty syövytysallas. Syövytysallas on varustettu lämpövastuksella ja ilmapumpulla paremman lopputuloksen aikaansaamiseksi. /8/



Kuvio 17. Piirilevyn syövytysallas, joka on varustettu ilmapumpulla /8/

Syövytys on valmis, kun piirilevyltä on irronnut kaikki ylimääräinen kupari. Syövytyksen jälkeen piirilevy huuhdellaan runsaalla vedellä ja kuivataan. Jos piirilevyssä esiintyy katkoksia johtimissa, voidaan ne korjata juottamalla. /8/

Valmiiseen piirilevyyn tarvitsee porata reiät komponenttien sijoittamista varten. Poraamiseen kannattaa käyttää helposti käsiteltävää pienoisoraa, koska reikien on osuttava tarkasti kohdalleen. Reikien poraamiseen käytetään yleensä 0,7–1,0 millimetriä paksuja teriä. Poraamisen jälkeen piirilevyn pinta puhdistetaan lakkakerroksesta. Lakka saadaan poistettua helposti asetonilla tai sprillä kostutetulla rätillä. /8/

Valmistamalla piirilevy itse saadaan tehtyä juuri sellainen piirilevy kuin halutaan. Itse valmistettu piirilevy on helppo kalustaa komponenteilla. Kun piirilevy valmistetaan itse, voidaan käyttää pintaliitoskomponentteja, jolloin kytkennästä saadaan helposti hyvin pieni. Piirilevyn harhailevat kapasitanssit ja induktanssit ovat helposti hallittavissa tämän tekniikan avulla. Piirilevy on myös luotettava ja erittäin kompakti. /5/

Valmistettaessa piirilevy itse sen suunnitteluun menee runsaasti aikaa. Piirilevyn valotus ja syövytys tarvitsee myös runsaasti tilaa ja valmistus on aikaa vievää. Valmistustapa on myös melko kallis, koska valotukseen ja syövytykseen tarvitaan useita erilaisia välineitä ja tarvikkeita. Valmiiseen piirilevyyn on myös usein vaikea tehdä muutoksia, mutta kytkentää voidaan onnistua usein muuttamaan ilman kokonaan uuden prototyypin tekemistä. /5/

5.6 Prototyypin piirilevyn valmistuttaminen ulkopuolisella

Piirilevyn valmistuttaminen tehtaassa on hyvä vaihtoehto silloin, kun samanlaisia piirilevyjä tarvitsee valmistaa useita kappaleita. Piirilevyjen valmistuttaminen ulkopuolisella on kallista, koska maskien tekeminen piirilevyä varten maksaa paljon ja vie aikaa. On olemassa myös prototyyppien valmistukseen erikoistuneita yrityksiä, jotka valmistavat yksittäisen prototyypin piirilevyjä hieman halvemmalla kuin tavallinen piirilevyvalmistaja. /10/

Tilatessa valmista piirilevyä tulee piirilevyvalmistajalle toimittaa CAD-ohjelmalla suunnitellusta kytkennästä Gerber-tiedosto ja poratiedosto. Jos on olemassa valmis maski piirilevyn valmistusta varten, voidaan se toimittaa piirilevyvalmistajalle. Tilatessa piirilevy ulkopuoliselta piirilevyvalmistajalta saadaan tarvittaessa useita kerroksia sisältäviä piirilevyjä, joita on mahdotonta valmistaa itse. /10/

6 Yleistä prototyypin valmistuksesta

On asioita, jotka tulee huomioida prototyypin rakennustyylistä huomioimatta. Kun johdotetaan mitä tahansa prototyyppiä, on otettava huomioon käytettyjen johtimien pakkaus. Jos prototyypin virrankulutus on suuri, tarvitsee se vahvempaa johdinta kuin pienen virrankulutuksen omaava laite. Johtimet ovat myös turvallisuusnäkökohta, koska liian pieni eriste aiheuttaa virran läpilyömisriskin. Johtimen jäykkyyteen tulee kiinnittää huomiota. Jos käytetään liian jäykkää johdinta paikassa, jossa sitä taivutellaan usein, saattaa johdin murtua tai pahimmillaan murtaa itse piirilevyn liitoskohdan. /3/

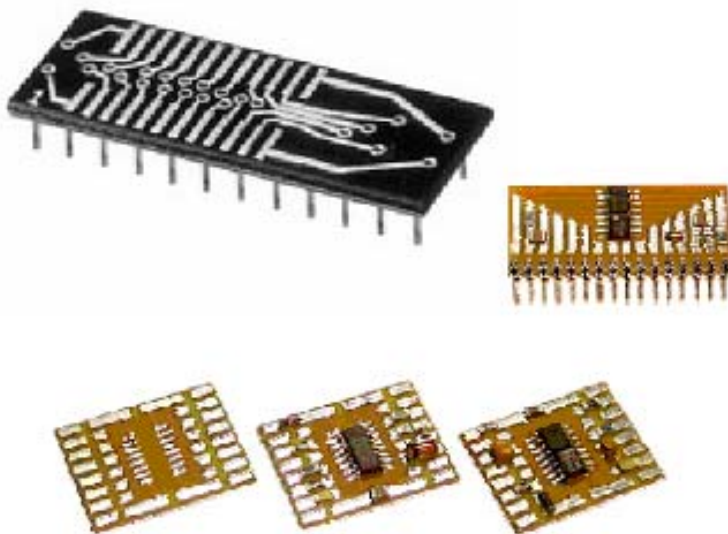
Jos jokin johdin tarvitsee kiinnittää ja irrottaa useasti piirilevylle, kannattaa harkita liittimen käyttämistä. Liittimiä käyttäessä täytyy myös olla huolellinen ja varmistaa, ettei käytä sellaisia liittimiä, joiden käytön voi ymmärtää väärin ja näin aiheuttaa vaaratilanteen. Esimerkiksi AC-jännitettä varten olevia liittimiä ei tulisi ikinä käyttää mihinkään muuhun kuin AC-jännitteen liittämiseen laitteeseen. Liittimien tarvitsee myös kestää virtamäärä, joka siihen liitettävässä johtimessa kulkee. /3/

Käytettäessä tehokkaita komponentteja on huolehdittava niiden riittävästä jäähtyksestä. Komponenttien datalehdistä selviää yleensä tarvittavat parametrit, jos komponentti tarvitsee jäähtytystä. Komponenttien jäähtytys on tärkeää myös niiden eliniän kannalta. Liian kuumana käyvä komponentti saattaa herkästi rikkoontua ja aiheuttaa suuria ongelmia prototyyppiä testatessa. /3/

Jos prototyyppi tarvitsee erillisen muuntajan teholähteeksi, tulisi se eristää hyvin muista komponenteista, mikäli muuntajan teho on 10–20 wattia tai enemmän. Teholähteistä on varmistettava tarkasti myös AC- ja DC-jännitteiden ulostulot väärin kytketymisen varalta. Valmiiden ulkoisten jännitelähteiden jännitetasot eivät aina vastaa kytkennässä tarvittua, joten jännitteen reguloiminen oikeaksi piirilevyllä on usein suositeltavaa, etenkin jos kytkennässä tarvitaan useita eri jännitetasoja. Piirilevylle syötettävä jännitelinja tulisi myös varustaa sulakkeella vaikka käytettäisiin pelkästään paristoja jännitelähteenä. Jopa tavalliset nikkelikadmium-paristot pystyvät tuottamaan suuria virtoja vikatilanteessa. /3/

Maadoitukseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Digitaalisia piirejä käytettäessä usein unohtuu kiinnittää huomiota signaalien analogisen maailman maadoitukseen. Jos maadoitusta ei suunnittele tarkkaan, ilmenee helposti ongelmia. Aina kun virta ohittaa minikä tahansa maatasen liittimen, syntyy jännitettä Ohmin lain perusteella. Mikäli mahdollista, kannattaa herkille lohkoille tehdä matalaimpedanssin maalinja. Piirilevyille kannattaa myös sijoittaa mahdollisimman paljon valmiita mittauspisteitä lopullisia mittauksia varten. Suoraan IC-piirien jalasta mittaaminen aiheuttaa helposti oikosulun viereisen jalan kanssa. Kytkeä ei kannata rakentaa liian tiiviisti, jos ei ole pakko. Kun kytkentään jätetään tilaa, voidaan mahdollisesti tarvittavia komponentteja lisätä jälkepäin. /3/

Prototyyppien valmistaminen edellyttää usein läpiladottavien komponenttien käyttöä, mikä johtuu tekniikoiden käyttämisestä alustoista. Nykyään kuitenkin pintaliitoskomponentit ovat yleistyneet nopeasti ja lopullisissa tuotteissa niiden käyttäminen onkin hyvin yleistä. Tätä varten on kehitelty adaptereita, joiden avulla voidaan esimerkiksi koekytkentäalustassa käyttää pintaliitoskomponenttejäkin. Adapterissa on piirilevy, johon on liitetty jalat 100 milsin jaolla, mikä sopii käytössä olevien alustojen jakoon. Itse pintaliitoskomponentti kiinnitetään tähän piirilevyyn juottamalla ja voidaan lisätä kytkentään liittämällä se suoraan koekytkentäalustaan. Kuviossa 18 on esitelty erilaisia adaptereita pintaliitoskomponenttien käyttöä varten. /5/



Kuvio 18. Pintaliitoskomponenttien käytön koekytkentäalustassa mahdollistavia adaptereita /5/

7 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli perehtyä elektronisen laitteen piirilevyn valmistukseen ja tehdä kattava selvitys erilaisista elektronisten laitteiden prototyypin valmistustekniikoista sekä niiden hyvistä ja huonoista ominaisuuksista. Työssä käsiteltiin elektronisen laitteen valmistusta suunnitteluvaiheesta valmiiksi tuotteeksi, useita eri prototyypitekniikoita sekä työkaluja, joita piirilevyjä valmistettaessa tarvitsee. Työssä käytiin myös läpi nykyaikaisen laitesuunnittelun ongelmakohtia ja pohdittiin niihin ratkaisuja.

Prototyypin valmistamiseen on olemassa hyvin useita toisistaan paljon poikkeavia valmistustapoja. Osa valmistustavoista on edullisia ja soveltuu näin ollen myös tavallisen kotiharrastelijan käytettäväksi. Osa taas vaatii paljon hankittavaa laitteistoa ennen kuin tekniikkaa voidaan käyttää tehokkaaksi hyväksi ja onkin käytössä useimmiten yritysmaailmassa. Valmistustekniikoista löytyy myös erilaisia vaihtoehtoja riippuen prototyypin tekijän taidoista – osassa tekniikoista ei tarvitse edes juottaa komponentteja toisiinsa, kun taas tekniikoissa vaaditaan hyvin korkeaa juottamistaitoa. Tekniikoissa on selkeästi havaittavissa omat tekniikkansa erikseen digitaalisille kytkennöille, analogisille kytkennöille sekä sekakytkennöille. Usein ison prototyypiprojektin valmistuksessa saatetaan joutua käyttämään useita eri tekniikoita eri osioihin ja tämän jälkeen yhdistämään nämä toisiinsa.

Prototyypin valmistukseen tulee kiinnittää tulevaisuudessa entistä enemmän huomiota, jotta saavutetaan tuotteiden nopea siirtyminen suunnittelusta tuotantoon ilman suuria ongelmia. Tuotteiden jatkuvasti lyhenevä elinkaari edellyttää tätä tavoitetta. Tietotekniikka on mahdollistanut prototyypin mallintamisen yhä tarkemmin jo ennen valmiin tuotteen näkemistä, ja tämä trendi tulee varmasti jatkumaan myös tulevaisuudessa. Pintaliitoskomponenttien käyttö prototyypeissä tulee myös lisääntymään huomattavasti tulevaisuudessa. Tämä asettaa omat vaatimuksensa tekniikoille joilla prototyyppejä on totuttu valmistamaan, koska tarvitaan vähintään erillisiä adaptoreita, joihin pintaliitoskomponentit juotetaan kiinni käyttöä varten. Prototyypin merkitys uusien tuotteiden kehittäessä kasvaa merkittävästi tulevaisuudessa.

Lähdeluettelo

Painetut lähteet

1. Aaltonen Juha, Kousa Seppo, Stor-Pellinen Jyrki. *Elektroniikan perusteet*. Helsinki : Limes ry, 2004
2. Meriläinen Veijo, Asplund Anders. *Elektroniikan valmistus 2000*. Pori : Porin korkeakouluyksikkö, 2000

Sähköiset lähteet

3. College of Engineering [sähköinen dokumentti] [Viitattu: 17.4.2009] Saatavissa: http://www.egr.msu.edu/classes/ece480/goodman/Prototyping_v2.sxw.pdf
4. Cooper Hand Tools [sähköinen kuva] [Viitattu: 24.2.2009] Saatavissa: http://www.cooperhandtools.com/_cache/3140af121ffa7a52a250f37b54773334.jpg
5. Dartmouth College [sähköinen dokumentti] [Viitattu: 1.4.2009] Saatavissa: <http://www.dartmouth.edu/~sullivan/prototyping.pdf>
6. EDN [www-sivu] [Viitattu: 23.2.2009] Saatavissa: <http://www.edn.com/article/CA6619017.html?text=Prototyping+techniques>
7. GEO [www-sivu] [Viitattu: 1.4.2009] Saatavissa: http://www.geofex.com/Article_Folders/deadbug/deadbug.htm
8. MikroBitti [www-sivu] [Viitattu: 17.4.2009] Saatavissa: <http://www.mbnet.fi/rakentelunurkka/perusteet/osa4.aspx>
9. National Instruments Corporation [www-sivu] [Viitattu: 26.2.2009] Saatavissa: <http://zone.ni.com/devzone/cda/pub/p/id/579>
10. sfnet.harrastus.elektroniikka [www-sivu] [Viitattu: 17.4.2009] Saatavissa: <http://www.tkk.fi/Misc/Electronics/faq/sfnet.harrastus.elektroniikka/piirilevyt.html>
11. Society Of Robots [www-sivu] [Viitattu: 17.4.2009] Saatavissa: http://www.societyofrobots.com/member_tutorials/node/90/