

OPINNÄYTETYÖ
PEKKA SUUTARI 2012

AVR KIT -piirilevyn suunnittelu
KiCad-ohjelmalla



Rovaniemen
ammattikorkeakoulu
University of Applied Sciences
LUC

TIETOTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA



Rovaniemen
ammattikorkeakoulu
University of Applied Sciences
LUC

Tekniikka ja liikenne
Tietotekniikan
koulutusohjelma

Opinnäytetyön
tiivistelmä

Tekijä	Pekka Suutari	Vuosi	2012
Työn nimi	AVR KIT -piirilevyn suunnittelu KiCad-ohjelmalla		
Sivu- ja liitemäärä	52		

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin AVR KIT -piirilevyt lisenssivapaalla KiCad suunnitteluohjelmalla.

Ennen varsinaista suunnittelutyötä esitellään piirilevyn suunnittelun historiaa, alan perusteita sekä suunnittelutyön eri vaiheita. Piirilevyn suunnittelu jaettiin kolmeen eri osioon, piirikaavion piirtämiseen, liitostiedoston luontiin ja varsinaiseen piirilevyn suunnitteluun. Lisäksi tehtiin katsaus myös elektromagneettisten häiriöiden ehkäisemiseen ja simulaatio-ohjelmien käyttöön.

Työn tutkimusaineistona käytettiin elektroniikan oppikirjallisuutta, piirilevyn suunnitteluopasta sekä sähköalan Internet-aineistoa.

Opinnäytetyössä esiteltiin käytettävän suunnitteluohjelman rakennetta sekä tutustuttiin koko piirilevyteollisuuteen, joka nykypäivänä on maailmanlaajuista liiketoimintaa.

Suunnittelutyössä pääpaino pidettiin pääkortissa ja sen toiminnassa. Ensimmäiseksi suunniteltiin pääkortin piirikaavio ja kuvailtiin siihen tulevien komponenttien toimintatarkoitusta. Pääkortin liitostiedostossa komponenteille valittiin käytettävät kotelotyypit. Komponentit jaettiin tuotantotapojen mukaan pintaliitos- ja läpivientikomponentteihin. Tämän jälkeen suunniteltiin itse pääkortti. Viimeiseksi suunniteltiin pääkortille tulevien lisäkorttien piirikaaviot ja liitostiedostot sekä niiden piirikortit.

Avainsanat piirilevy piirilevyn suunnittelu, KiCad, AVR KIT, 3DWings

Muita tietoja Työhön liittyy CD-levy

Author	Pekka Suutari	Year	2012
Subject of thesis	Designing of an AVR Kit Board with the KiCad Designing Program		
Number of pages	52		

This thesis discussed designing the AVR KIT circuit boards with a license free circuit designing program called KiCad.

The theoretical part discussed the history of the circuit designing industry, the basics and the different steps of designing. The circuit designing process can be divided into three different parts. The first part is drawing the circuit diagram, the second is creating a joint data file and the third part is creating a complete circuit board. The theoretical part also discussed what EMC (electromagnetic compatibility) is and how the designer can benefit from using a simulation program.

The research material of this thesis was based on literature about electronics, the manual of circuit board designing and the Internet sources on the electrical industry.

This thesis discussed the structure of the used design program and introduced the whole circuit board manufacturing industry which is nowadays a global field of business.

The main emphasis in the designing part was on designing the main board and how it functions. Designing circuit diagram of the main board and describing the functional meanings of the components on it started the designing part of this thesis. After that packages was chosen for the components joint data file of the main board. According to their manufacturing features the components were divided into SMD (surface-mount devices) and through hole components. This was followed by designing the main board itself. The process ended with designing the accessory boards of the main board.

Key words circuit board, designing of the circuit board, KiCad, AVR KIT, 3DWings

Special remarks This thesis includes a CD.

OPINNÄYTETYÖ	1
1 Johdanto.....	6
2 Piirilevyn suunnittelu.....	7
2.1 Historia	7
2.2 Perusteita piirilevyn suunnittelusta	8
2.3 KytKentäkaavioiden ja liitostiedostojen suunnittelu.....	9
2.4 Häiriöiden suodatus ja simulaattorihjelmat	11
3 KiCad-suunnitteluohjelma.....	13
4 Piirilevyteollisuus	15
4.1 Piirilevytuotanto	15
4.2 Pintaliitoskomponentit	15
4.3 Lämpiladottavat komponentit	17
5 Emokortin piirikaavion suunnittelu	18
5.1 Liitostiedosto	23
5.2 Pintaliitoskomponentit (SMD)	23
5.3 Lämpiladottavat komponentit	25
6. Piirilevysuunnittelu	26
6.1 Asetusten määrittelemineen uudelle työlle	27
6.2 Emokortin piirilevyn suunnittelu.....	29
6.3 Pintaliitoskomponenttien asemointi	33
6.4 Emokortin kuparialueen täyttö	38
7. Lisäkorttien suunnittelu.....	41
7.1. Lisäkorttien piirikaaviot ja liitostiedostot.....	41
7.1.1 Buttons-piirikaavio ja liitostiedosto.....	41
7.1.2 Led-piirikaavio ja liitostiedosto.....	42
7.1.3 Trimmer-piirikaavio ja liitostiedosto	42
7.1.4 Com-piirikaavio ja liitostiedosto	43
7.1.5 Adc-piirikaavio ja liitostiedosto.....	44
7.2 Lisäkorttien piirilevyn suunnittelu.....	44
7.2.1 Buttons-piirilevyn suunnittelu.....	45
7.2.2 Led-piirikortin suunnittelu	46
7.2.3 Trimmer-piirikortin suunnittelu	47
7.2.4 Com-kortin piirilevyn suunnittelu.....	48

7.2.5 Adc-kortin piirilevyn suunnittelu	49
8. Loppusanat.....	51
Lähdeluettelo.....	52

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytteen tarkoituksena oli suunnitella AVR KIT -opetuskortit KiCad-piirilevynsuunnitteluohjelmalla.

Opinnäytteen ensiaskeleet sijoittuvat syksylle 2010, jolloin opettajani Tauno Tepsa esitteli opinnäytetyöseminaarissa tämän yhtenä opinnäytetyön aiheena. Tavoitteena oli saada työ siihen vaiheeseen, että opetuskortteja voidaan käyttää kurssilla. Työn laminaatit tilattaisiin komponentteineen oppilaitokselle, jossa opiskelijat kurssin alussa rakentaisivat itselleen kurssia varten piirilevyn käsinjuottamalla. Tällöin oppilaat saisivat harjoitusta myös elektronikka-alan insinööreille oleellisesta komponenttien juottamisesta.

Samalla myös päätettiin, että työ toteutetaan KiCad-suunnitteluohjelmalla. Kyseinen ohjelma oli ilmaiseksi ladattavissa Internetistä, joten kalliita lisenssejä ei sen käyttöön tarvittu. Ohjelmaa oli myös mahdollista laajentaa 3D-ohjelmalla, jolla piirilevyjä pääsi tarkastelemaan myös kolmiulotteisina. Tällaista mahdollisuutta ei muissa ohjelmissa ollut. Piirilevyjen elektronikan mallina käytettäisiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun ATmega32-rakennussarjaa, josta piirikaavioita yhdistettäisiin sekä niiden piirilevyt suunniteltaisiin erillaisiksi.

Aihealueen yleisen ymmärtämisen kannalta on tärkeää tutustua ensin yleisesti piirilevy-suunnittelun vaiheisiin ja alan lyhyehköön historiaan, jonka jälkeen käsitellään KiCad-ohjelman toimintaa ja logiikkaa.

Loppuosa opinnäytteestä on varattu itse suunnittelulle, aloittaen vaativimman, eli emokortin piirikaavion piirtämisestä ja sen toimintojen läpikäymisestä. Tämän jälkeen emokortin komponenteille valitaan ja esitellään käytettävät kotelot niin pintaliitos- kuin läpivientikomponenteillekin ja tehdään liitostiedostot lopullista piirilevyn suunnittelua varten. Emolevyn piirilevyn suunnittelu toteutetaan ohjelman eri toimintoja hyväksi käyttäen, jotta saadaan mahdollisimman kattava kuva koko ohjelman toiminnoista ja mahdollisuuksista.

Viimeiseksi avataan hieman emolevyn lisäkorttien suunnittelua. Lisäkorttien piirikaaviot esitetään liitostiedostojensa kanssa ja korttien toimintaa esitetään pintapuolisesti. Lopuksi käydään läpi lisäkorttien varsinaisten piirilevyjen suunnittelu ja esitetään jokaisesta kortista kolmiulotteiset kuvat.

2 PIIRILEVYN SUUNNITTELU

2.1 Historia

Nykyaikana on vaikeaa olla kohtaamatta piirilevyjä. Niiden kanssa voi joutua tekemisiin tietämättään, sillä niistä on kehitetty ajan saatossa entistä pienempiä ja monimutkaisempia, niitä voidaan nykyään liittää maitopurkkeihin tai jopa osaksi vaatetusta. Vaikka piirilevyn käyttökohteet ja materiaalit kehittyvät, perusteiltaan piirilevyn toiminta ei muutu vaan edelleen niiden on tarkoitus ohjata komponentteja sähköisillä impulsseilla, jotta saavutetaan suunniteltu toiminta.

Piirilevysuunnittelun historia on lyhyt, kuten koko tietotekniikan. Alkuvaiheessa suunnitteluohjelmia oli vähän, ne olivat kalliita ja niitä käytäviltä koneilta vaadittiin isoa suoritustehoa. Tikkasen (2004, 3-10) mukaan tyypillinen piirilevysuunnittelutyöasema vastasi kooltaan kahta vaatekaappia ja vei sähköä kuin omakotitalo.

Suomeen ensimmäiset tietotekniikka-avusteiset piirilevyn suunnitteluohjelmat tulivat VTT:lle (valtion teknillinen tutkimuslaitos) 1970-luvun lopulla. Alussa nämä ohjelmat olivat suorituskyylyltään vaatimattomia, eivätkä näin ollen sopineet yrityskäyttöön, vaan yrityksissä piirilevyjen suunnittelu tapahtui edelleen manuaalisesti piirtoalustoilla.

Alkuajan suunnitteluohjelmat toimivat Dos-ympäristössä, ohjelmat olivat tekstipohjaisia, joten kaikki käskyt ja toiminnot suoritettiin näppäimistöltä. Tietokoneiden prosessorien ja käyttöliittymien (Windows) kehittyessä ohjelmia oli mahdollista alkaa suunnittelemaan myös graafiseen ympäristöön. Graafinen käyttöliittymä avaa uusia mahdollisuuksia levyjen suunnitteluun ja suunnittelijoille, koska on huomattavasti palkitsevampaa suunnitella piirilevyjä ohjelmilla, joilla voidaan automaattisesti lajitella komponentteja ja latailla kirjastoja kuin entisajan ohjelmilla. (Tikkanen 2004, 11–15.)

Voidaankin todeta, että suunnitteluohjelmien kehitymisellä on ollut merkittävä rooli koko tietotekniikan huimaan kehitykseen viime vuosikymmenien aikana. Tekniikan kehittymisen myötä myös tuotantotavat sekä komponentit ovat kehittyneet. Tämä on mahdollistanut

suurien määrien tuottamisen halvalla, joten nykyään uusin tekniikka on normaalin kadunmiehen tavoitettavissa maasta ja maanosasta riippumatta.

2.2 Perusteita piirilevyn suunnittelusta

Piirilevyn suunnittelu tulee nähdä prosessina, jolla ei vain luoda itse piirilevyä vaan koko sen tuotanto- ja käyttöhistoria. Globaalissa maailmassa yritykselle on yleensä suuri merkitys sillä, kuinka tuotannolliseksi ja halvaksi piirikortti saadaan suunniteltua. Luonnollisesti piirilevyille suunnitellut tuotantomäärät kertovat, kuinka paljon tähän vaiheeseen kannattaa varata resursseja. Piirilevyä suunnitellessa tulisi opetella tuntemaan myös tuotantoprosesseja, jotta ne osataan ottaa huomioon komponenttien valinnassa, niiden asemoinnissa sekä piirilevymateriaalien valinnassa.

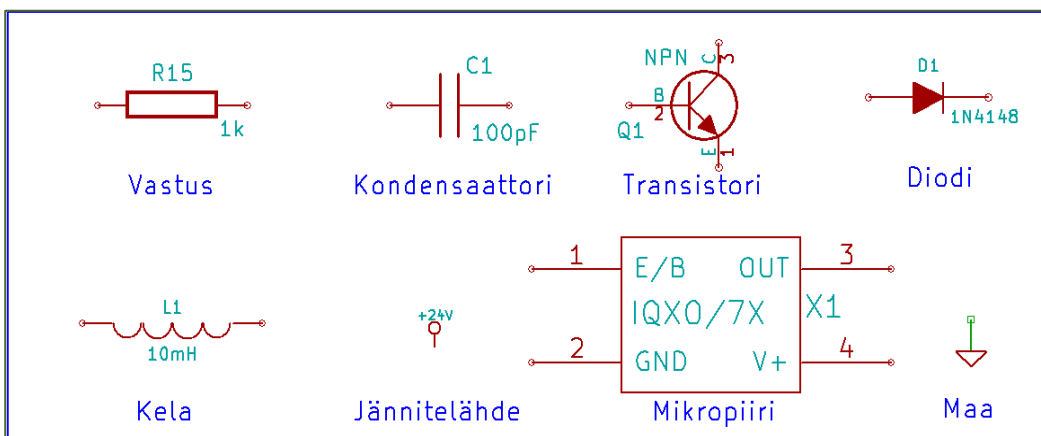
Piirilevysuunnitteluohjelmia on tänä päivänä olemassa useita ja konetehon kasvaessa niiden määrä voi tulevaisuudessa vielä lisääntyä, koska niiden suunnitteleminen tulee entistä halvemmaksi ja helpommaksi. Kuitenkin monet nykyisistä ohjelmista soveltuvat lähinnä vain yrityskäyttöön. Niiden lisenssit ovat vielä liian kalliita tavalliselle kuluttajalle ja niitä on syytä uusia aika ajoin, jotta niiden käytössä pysytään kehityksen mukana.

Tunnetuimpia suunnitteluohjelmia ovat kaupalliset Pads ja Eagle sekä ei-kaupallinen KiCad. Kunkin ohjelman käyttö eroaa toisistaan, mutta niistä jokaisesta löytyvät samat suunnittelutyön vaiheet ja aliohjelmat. Näitä ovat piirikaavion teko, erilaiset komponenttikirjastot sekä varsinainen piirilevyn suunnittelu (piirtäminen). Piirikaaviosta siirto varsinaiseen piirilevyn piirtämiseen vaihtelee eri ohjelmissa, mutta valmis piirilevy voidaan jokaisella ohjelmalla muuttaa yleisesti käytetyksi Gerber-tiedostoksi, jota piirilevyjen valmistajat käyttävät. Tällä varmistetaan se, että ohjelmasta riippumatta piirilevytiedostot ovat tarvittaessa piirilevyjä valmistavalla tehtaalla samassa formaatissa. Toimittajien kilpailuttaminen ja vaihtaminen on näin ollen helpompaa. ”Joillakin valmistajilla on tosin käytössään myös CAD -järjestelmiä ja jos ohjelmisto on sama kuin tilaajalla, voi valmistaja ottaa vastaan myös asiakkaan piirilevytiedoston.” (Tikkanen 2004,).

2.3 Kytkentäkaavioiden ja liitostiedostojen suunnittelu

Piirilevyn tekoprosessi aloitetaan kytkentäkaavion suunnittelusta. Sen tarkoitus on näyttää komponenttien sähköiset ja toiminnalliset arvot, niiden väliset yhteydet sekä niiden määrä levyllä. Piirikaaviossa komponentit myös yksilöidään, eli niille annetaan tunnuskirjaimet komponentin sähköisen toimivuuden perusteella ja järjestysnumero, mikä normaalisti alkaa ensimmäisestä. Esimerkiksi R1 = järjestysluvultaan ensimmäinen vastus piirilevyllä, IC8 = järjestysluvultaan kahdeksas mikropiiri piirilevyllä. Kyseiset järjestysluvut näkyvät normaalisti myös lopullisella piirilevyllä, johon ne on maalattu silkkipainomenetelmällä. Tämä helpottaa kytkentäkaavioiden ja piirilevyjen lukemista, vian etsintää sekä korjaamista.

Kaikilla piirikaavioilla käytetään komponenttien merkintätapana maailmanlaajuisia standardia (Kuvio 1). Tämä mahdollistaa sen, että jokainen sähköalaan perehtynyt henkilö ymmärtää piirikaaviota. Isoissa yrityksissä on yleistä, että piirikaavion ja piirilevyn suunnittelun tekevät eri työntekijät, jopa eri yrityksissä työskentelevät.



Kuvio 1. Komponenttien piirrosmerkintöjä

Komponentit piirikaavioihin valitaan komponenttikirjastoista. Kirjastot sisältävät tuhansia eri komponentteja, joten yleensä eri projekteille luodaan omat kirjastot, jonne komponentit ja niille annetut tiedot tallennetaan. Näitä projektien omia kirjastoja hyödynnetään myös komponenttien materiaalilistojen tekemisessä. Materiaalilistoja käytetään komponenttien

tilaamiseen komponenttitoimittajilta. Tätä kautta saadaan selville alustavat piirilevyn komponenttikustannukset.

Oleellinen kustannuksiin vaikuttava tekijä ovat komponenteille valitut kotelot. Koteloita ja kotelotyyppejä on olemassa komponentista riippuen useita. Koteloiden ja komponenttien valitsemisessa tulee ottaa huomioon komponentin

- hinta
- onko komponentti läpiladottava vai pintaliitos
- tehonkesto
- koko
- soveltuvuus käytettävään tuotantoprosessiin
- saatavuus.

Yleensä piirilevyjen kustannukset pyritään saamaan mahdollisimman alhaisiksi, joten jo piirikaavion suunnittelussa kustannustekijät tulee ottaa huomioon. On esimerkiksi huomattavasti halvempaa jakaa kytkennän teho suunnittelemalla kolme heikompitehoista vastusta rinnakkain johtimeen kuin valita siihen yksi isoa tehonkesto vaativa vastus.

Komponentin valintaan vaikuttavat myös yritysten omat koodilistat. Suotavaa on käyttää mahdollisimman paljon jo yrityksessä käytössä olevia komponentteja, jolloin yrityksen eri komponentti-nimikkeet pysyvät alhaisempina. Tällä voi olla vaikutusta yrityksen varastovaroon ja sitä kautta kannattavuuteen.

Eri ohjelmien välillä on eroa koteloiden ja komponenttilistojen luomisessa ja käytettävyydessä. Komponentin tiedot voidaan syöttää järjestelmälle piirikaavion teon yhteydessä tai liitostiedoston luomisvaiheessa, riippuen käytettävän ohjelman suunnittelulogiikasta.

Suunnittelutyön viimeisessä vaiheessa suunnitellaan varsinainen piirilevy. ”Piirilevy pohjautuu täysin piirikaaviojärjestelmän tuottamaan tietoon komponenteista ja niiden välisistä kytkennöistä. Tietokannan rakenne ei muutu loogisessa mielessä, komponenttien ja signaalien esitystapa vain muuttuu.” (Tikkanen 2004, 112.) Teollisuudessa pyritään yleensä suunnittelemaan mahdollisimman pieniä piirilevyjä, jolloin myös lopputuotteen fyysiset mitat pienenevät.

2.4 Häiriöiden suodatus ja simulaattoriohjelmat

Tietotekniikkaan ja piirilevyjen suunnittelun arkipäivään kuuluvat myös häiriöt. Niitä voi syntyä, kun piirilevyllä olevilla kiteillä luodaan kortille oma kellotaajuus eli vaihtosignaali. Häiriöt johtuvat siitä, että liikkueissa negatiivisen ja positiivisen jännitteen väliä vaihtosignaali tuottaa sähkömagneettista säteilyä ympäristöönsä ja komponentit reagoivat kyseiseen säteilyyn eri tavoin. Suunnittelussa pitää ottaa huomioon myös ulkoapäin tuleva sähkömagneettinen säteily. Tästä syystä Euroopan markkinoille pyrkiviltä tuotteilta vaaditaan aina sähkömagneettisen yhteensopivuuden eli EMC-mittausten läpäisy (Electro magnetic-compatibility). Näissä testeissä mitataan tuotteesta lähtevää magneettista säteilyä, lisäksi tuote altistetaan voimakkaalle säteilylle eri taajuuksalueilla. ”Sähkölaitteelta edellytetään sen turvallisuuden, luotettavuuden ja huollettavuuden lisäksi moitteetonta toimintaa muiden laitteiden kanssa sille tarkoitetuissa toimintaympäristöissä. Häiriöttömän toiminnan takaa samaan käyttöympäristöön tarkoitettujen laitteiden sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC). Sähkölaite ei saa kohtuuttomasti lähettää ympäristöönsä häiriöitä, toisaalta, sen on siedettävä riittävässä määrin muualta tulleita häiriöitä.” (Tukes 2012.)

Normaalisti piirilevyn suunnittelun jälkeen tehdään koesarja tai koesarjoja, joita kutsutaan teollisuudessa proto- tai nollasarjoiksi. Näillä sarjoilla on tarkoitus kokeilla suunnitellun piirilevyn tuotantoon sopivuutta sekä itse tuotteen toimivuutta. Onkin hyvin yleistä, että näiden sarjojen teon jälkeen piirilevy palaa takaisin suunnittelupöydälle. Tästä syystä sarjat ovat volyymiltaan pieniä, mutta usein hyvin kalliita. Se, että päästään edes nollasarjaan asti, vaatii kuukausien työn. Tänä aikana suunnittelijoilla on apunaan simulaatio-ohjelmia. Simulaatio-ohjelmilla voidaan virtuaalisesti latoa komponentit, antaa niille sähköiset ominaisuudet ja kytkennät, sekä käyttää lopulta koko piirilevyä kaikkine sen toimintoiineen eri taajuuksilla, virroilla sekä jännitteillä. Simulaatio-ohjelmat eivät luonnollisesti ole aivan aukottomia, mutta parhaimmillaan niiden käytöllä säästetään monen nollasarjan kustannukset. Nykyään monia simulaattoreita on ladattavana internetissä täysin ilmaisena, tunnetuimpana niistä LTspice. Tämän ohjelman on kustantanut komponenttivalmistaja (Linear Technologies), joten kirjastokannoista löytyy heidän valmistamiaan komponentteja.

Ohjelmaan on mahdollista tehdä myös omia komponentteja, mutta se vaatii hiukan enemmän harjaantumista kyseiselle ohjelmalle.

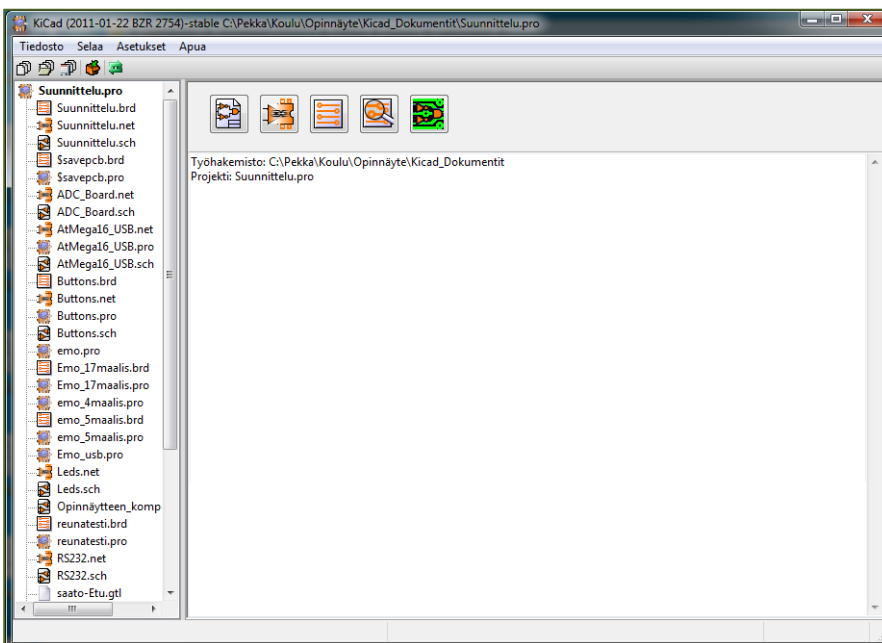
3 KICAD-SUUNNITTELUOHJELMA

KiCad-suunnitteluohjelma on kaikkien vapaasti käytettävissä ja muokattavissa, eli se kuuluu ns. freeware-ohjelmiin. Ohjelma ei välttämättä ole yhtä kattava tai selkeä kuin lisensoidut suunnitteluohjelmat, mutta siitä löytyy kaikki tarvittava piirilevyn suunnittelua varten. Lisäksi siihen voi verkosta ladata käyttäjien tekemiä lisäosia ja komponentteja eri kirjastojen muodossa. Tässä opinnäytteessä käytetään lisäohjelmana 3DWings-ohjelmaa, jolla komponentteja ja piirilevyjä päästään tarkastelemaan kolmiulotteisina.

KiCad-ohjelman rakenne koostuu neljästä eri aliohjelmasta sekä projektinhallinnasta:

- **EESchema:** Ohjelmalla suunnitellaan piirikaaviot
- **PCBNew:** Ohjelma piirilevyn piirtämiseen
- **GerbView:** Gerber-standardien luontiohjelma
- **CvPCB:** Kotelotyyppien valintaohjelma
- **KiCad:** Projektin hallintaohjelma.

Kaikkiin aliohjelmiin on pääsy KiCad-aloitusikkunan kautta (Kuvio 2). Ohjelman toiminta ei eroa muista nykyaikaisista ohjelmista, vaan työ aloitetaan uuden projektin luomisella ja nimeämisellä. Nimeämisen jälkeen kaikki tulevat työt ovat projektin sisäisiä, eli ne avataan projektista ja tallennetaan projektille.



Kuvio 2. KiCad ohjelman aloitusnäky

KiCad-aloitusikkuna on logiikaltaan käyttäjäystävällinen. Ohjelman aloitusikkunassa ovat graafiset pikakuvakkeet kaikille aliohjelmille. Pikakuvakkeista pääsee avaamaan kyseisen ohjelman. Projektin sisälle tallennetut työt näkyvät myös aloitusikkunan projektinäky-
ssä. Tallennettujen töiden edessä näkyy myös sen teossa käytetyn aliohjelman kuvake (Kuvio 3).



Kuvio 3. Aloitusnäkyvän pikakuvakkeet merkityksineen

4 PIIRILEVYTEOLLISUUS

4.1 Piirilevytuotanto

Piirilevyteollisuuden massatuotanto on nykyään painottunut maantieteellisesti Aasian suuntaan ns. LCC (low cost country) -maihin, eli kehittyviin maihin, joissa työvoima on kouluttamatonta, halpaa ja sitä on riittävästi. Teollisuusmaissa sijaitsevat tehtaot ovat yleensä mahdollisimman pitkälle automatisoituja, niiden volyymit ovat pienet ja ne ovat erikoistuneet johonkin tiettyyn teollisuuden alaan. Tällaisetkin yritykset ovat kuitenkin yleensä enemmän tai vähemmän riippuvaisia Aasiasta tulevista komponenteista ja niiden piirikorttien laminaatit tehdään usein siellä. Länsimaissa saattaa sijaita isojenkin tehtaiden prototuotanto, jossa suunnitellaan ja toteutetaan tuotteiden ensisarjat. Näissä tehtaissa tuotteet ns. tuotannollistetaan, jonka jälkeen tuote on valmis siirrettäväksi massatuotantoon LCC-maihin.

Piirilevyteollisuudessa käytetään tuhansia erilaisia komponentteja yhtä moniin eri käyttötarkoituksiin. Ne voidaan kuitenkin jakaa kahteen eri osa-alueeseen niiden tuotantoprosessin sekä fyysisen kytkennän avulla. Osa-alueet ovat läpiladottavat sekä pintaliitoskomponentit.

4.2 Pintaliitoskomponentit

Pintaliitoskomponentit asennetaan piirilevyn primääripuolelle, mikä on ”se piirilevyn rakenteen ja johdotuksen puoli, joka on perusdokumentissa määritelty ensisijaiseksi. (Puoli, jolla ovat teknisesti vaativimmat komponentit tai jolla komponentteja on eniten. Primääripuolta kutsutaan joskus myös komponenttipuoleksi)” (IPC-A-610 FI, 1-5).

Ensimmäiset pintaliitoskomponentit kehitettiin 1960-luvulla lähes pakon edessä, koska hybridipiirien tekniikka ei mahdollistanut jalallisten komponenttien käyttöä. ”Näitä piirejä varten kehitettiin langattomia palakomponentteja, joissa oli juotoskontaktit komponenttien päissä, sekä mikropiirejä, jotka soveltuivat juotettavaksi alustan pintaan. Tarvittiin vain pieni oivallisuus; ”Näitä osiahan voidaan käyttää myös piirilevyllä”, ja nykyisen pintaliitos-

tekniikan syntysanat oli lausuttu” (Ojala 1984, 12). Pintaliitoskomponentit alkoivat varsinaisesti yleistyä 1980-luvulla, jolloin julkaistiin myös oppaita, joissa kehoitettiin suunnittelutyö tekemään pintaliitostekniikkaa hyödyntäen. Siihen asti komponentit olivat olleet läpivientikomponentteja, jotka jouduttiin latomaan piirilevyille käsityönä, koska niiden koneladonta oli hankalaa ja työlästä. Myös reikien ja kuparointien tekeminen piirilevyille lisäsi kustannuksia sekä tilantarvetta.

Pintaliitoskomponentit asennetaan piirilevyille konelinjalla. Linjaan kuuluu yleensä erilaisia koneita riippuen tehtaasta liiketoiminta-alasta, niitä ovat:

- peltipainokone pastan ja liiman levitykseen
- komponenttien ladontakoneita
- reflow- tai höyryfaasiuuni
- optinen tarkastuskone (AOI).

Tuotantotehtaissa koneet on yhdistetty toisiinsa liukuhihnoilla, joten korttiaihio kulkee linjalla automaattisesti. Koneladonta nopeuttaa tuotteen läpimenoaikaa, vähentää kustannuksia sekä parantaa laatua. Linjalle tarvitaan yleensä vain yksi työntekijä, jota kutsutaan SMD-operaattoriksi. Hänen tehtävänä on ohjelmoida koneita sekä pitää linja toiminnassa.

Tyypillinen konelinja alkaa pastanpainokoneelta, jossa tyhjälle korttiaihiolle painetaan tina-pasta. Painaminen tapahtuu pyyhkäisymenetelmällä, jossa pasta vedetään metallisen reikälevyn eli stencilin päältä. Siihen on tehty rei'itys vastaamaan piirilevyllä olevia juotos-alueita (pädejä). Tällä menetelmällä piirilevyaihiolle on levitetty juotostina.

Pastanpainokoneen jälkeen piirilevyaihio siirtyy komponenttien ladontakoneelle, joita saattaa olla peräkkäin useampiakin. Ensimmäisellä koneella ladotaan nopeat ja pienimmät komponentit eli palakomponentit, harvajalkaiset piirit yms. Tällä koneella komponenttien ladonta-aika on yleensä 8–24 komponenttia sekunnissa. Nopeasti ladottavia koneita voi olla monta peräkkäin, mutta ne kaikki ovat synkronoituja eli ohjelmoitu toimimaan yhdessä, jotta tuotantoaika jää mahdollisimman pieneksi. Isoimmat ja vaativimmat komponentit ladotaan linjan viimeisimmässä ladontakoneessa, jotta hihnalla kuljettava matka jää pieneksi. Tällöin piirilevyaihioiden tärähtämisestä johtuva laadun heikentyminen saadaan minimoitua.

Ladontakoneiden jälkeen linjalla saattaa vielä olla tarkistuspiste tai käsiladontapiste, jossa ladonnan onnistuminen varmistetaan ja koneiden mahdollisesti hylkäämät komponentit asennetaan.

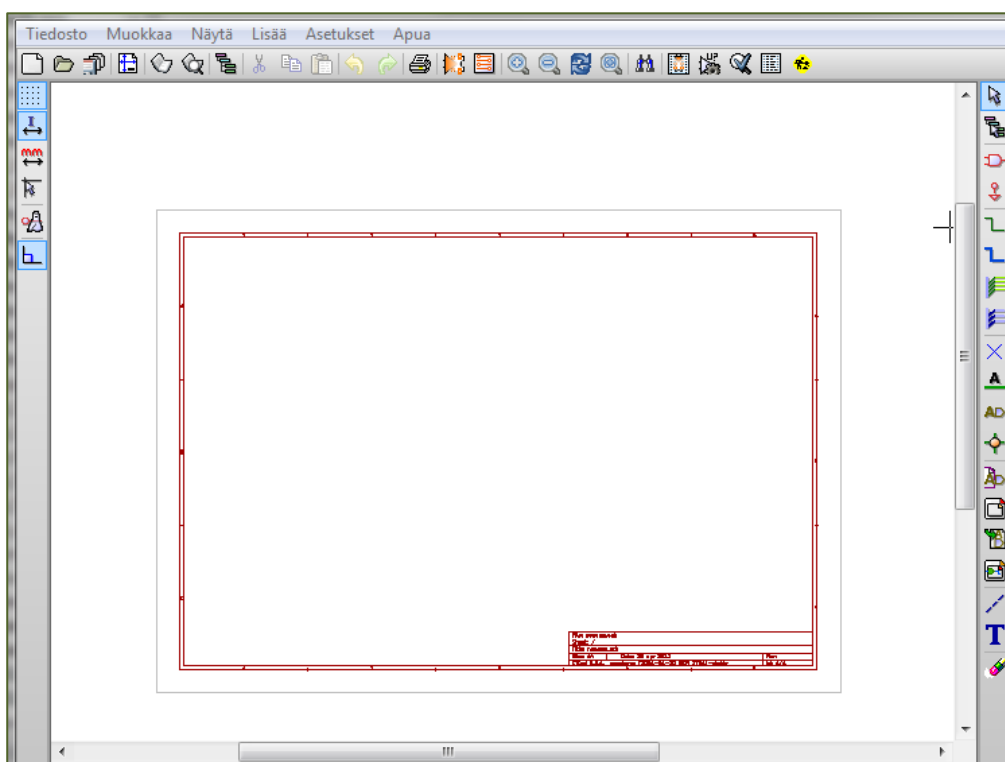
Tarkistuspisteen jälkeen korttiaihiot menevät Reflow-uuniin. Se on jakautunut useaan eri lohkoon, joiden lämpötilaa voidaan säätää. Reflow-uunin tehtävänä on esilämmittää kortti juotosta varten, sulattaa tinapasta (jolloin komponentit juottuvat levyille) sekä jäähdyttää kortti. Ensimmäisissä lohkoissa lämpötilaa nostetaan vaiheittain, jolloin kortille ja komponenteille ei pääse kohdistumaan ns. shokkivaikutusta, eli lämpötilan nopeaa muuttumista, joka pahimmillaan voi rikkoa komponentit. ”Kaikki komponentit eivät ole yhtä suuria. Pienimmät niistä lämpenevät juotoslämpötilaan hyvin nopeasti, ja suurimmat vaativat enemmän aikaa. Jos kaikki komponentit juotetaan yhtä aikaa, pienimmät ovat lämminneinä kauemmin kuin suuret. Tästä aiheutuu hankaluuksia, rasituksia, jotka voivat lyhentää elinikää” (Sköld 2000, 48). Reflow-uunissa jokaiselle korttityypille on ohjelmoituna oma profiili, jolla varmistetaan tuotteelle soveliaimmat radan nopeudet ja lämmitysajat. Viimeisenä linjalla on yleensä vielä Automatic optical inspector, joka yleisesti lyhennetään AOI:ksi. Tällä koneella tarkistetaan, että kortille asennetut komponentit ovat ehyitä, oikeita ja ne ovat juottuneet normien mukaan. Kone tarkastaa kortit referenssikuvan avulla, eli tälläkin koneella ovat korttikohtaiset ohjelmoidut profiilit. SMD-linja päättyy yleensä tähän ja kortit siirretään jatkoprosessoitaviksi, testattaviksi tai pakattaviksi.

4.3 Läpiladottavat komponentit

Läpiladottavat komponentit asennetaan piirilevyn sekundääripuolelle. Sekundääripuoli on ”se piirilevyn rakenteen ja johdotuksen puoli, joka on primääripuolen vastapuoli. (Tätä puolta kutsutaan joskus juotospuoleksi tai juotoksen lähdepuoleksi läpijuotettavissa komponenttilevyissä)” (IPC-A-610 FI, 1-5). Läpiladottavat komponentit asennetaan nimensä mukaisesti niin, että komponenttien jalat tulevat piirilevystä läpi. Nykyään piirilevyille pyritään suunnittelemaan mahdollisimman paljon pintaliitoskomponentteja, koska komponentit ovat halvempia sekä niiden asennusprosessi on nopeampaa ja tulee halvemmaksi. Läpiladottavat komponentit eivät usein sovi koneelliseen ladontaan ja niiden juottaminen vaatii aaltojuotuskoneen, selektiivijuotuskoneen tai käsinjuottamisen.

5 EMOKORTIN PIIRIKAAVION SUUNNITTELU

Piirikaavion suunnittelu toteutetaan EESchema-ohjelmalla. Ohjelmasta avataan uusi tiedosto, joka tallentuu projektiin nimellä Emolevy.sch. Ohjelmalle on omat aloitusasetukset, joita kutsutaan tehdasasetuksiksi. Oletuksena piirikaaviolla on käytössä A4-arkkikoko. Tämä koko ei yleensä ole riittävä suurien piirilevyjen tekoon, koska komponentteja ja johdotuksia tulee paljon. Kokoa voidaan muuttaa Sivun asetukset -välilehdestä. Tässä työssä valitaan käytettäväksi arkkikoko A3.



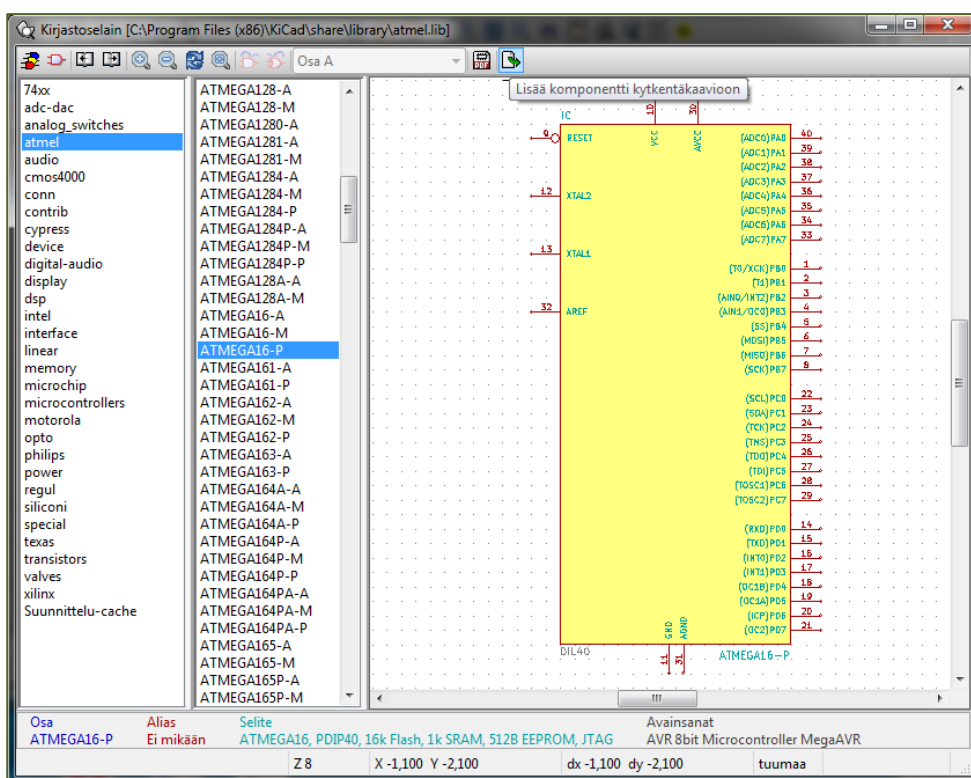
Kuvio 4. EESchema ohjelman hallintaikkuna

Komponentit valitaan ja lisätään ohjelman komponenttikirjastoista. Kirjastoihin on pääsy hallintaikkunan oikeasta työkalupalkista. Komponentit on jaoteltu kirjastoihin joko valmistajan tai käyttötarkoituksen mukaan.

Emolevyn ohjauspiirinä käytetään ATMEL-yhtiön mikropiiriperheeseen kuuluvaa *ATMega16* -mikrokontrolleria, eli mikropiiriä. Kyseisen piirin tehtävänä on ohjata muita emolevyyn liitettäviä kortteja. "AVR on 8-bittinen RISC-tyyppinen mikro-ohjain. Sen arkkitehtuuri (mm. rekisterit ja käskykanta) on optimoitu erityisesti niin, että C-kielestä

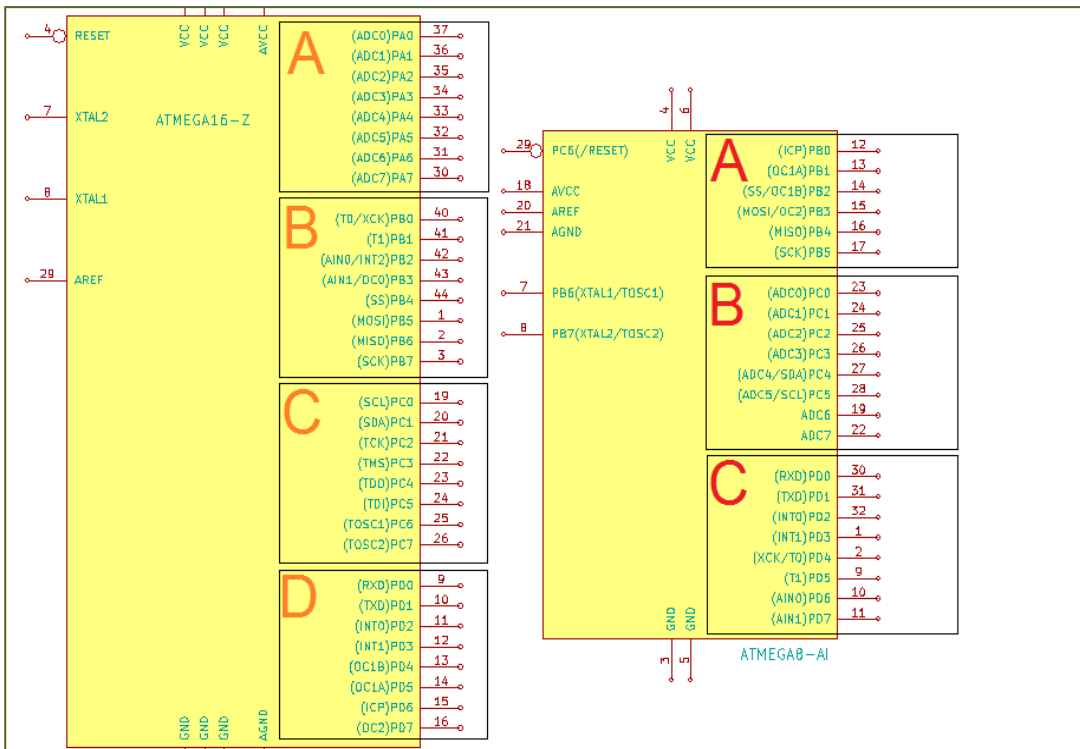
konekielelle käännetty ohjelma pystytään suorittamaan mahdollisimman tehokkaasti. Tämän seurauksena AVR:lle, C-kielestä käännetty ohjelmakoodi on mahdollisimman lyhyt ja mikro-ohjaimen sisältämä prosessori (CPU) suorittaa koodin mahdollisimman nopeasti” (Koskinen 2004, 137).

Kortin yhteys tietokoneeseen toteutetaan USB-väylän kautta, tätä yhteyttä kortilla hoitaa *ATMega8* -mikropiiri. Atmel-komponenteille on ohjelmassa oma kirjasto, josta voidaan valita kyseiset mikropiirit.



Kuvio 5. ATMEGA16 -mikropiirin lisääminen kirjastosta piirikaavioille

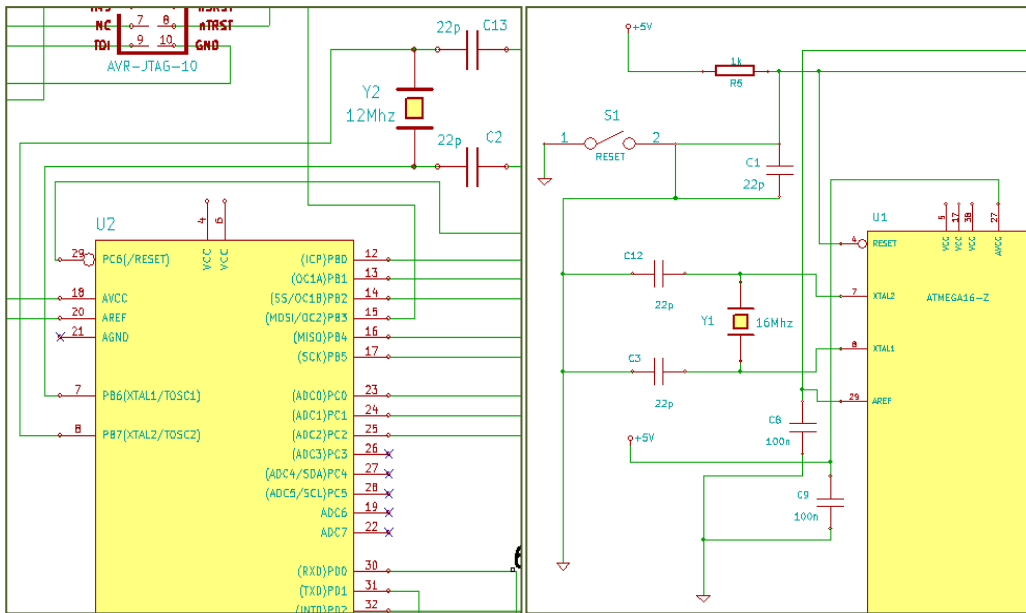
ATMEGA16 -mikropiiri sijoitetaan piirikaaviossa keskelle ja sille annetaan nimeksi *U1*. *ATMEGA8* -mikropiiri sijoitetaan piirikaavioille oikealle alas *U1*-piiristä katsoen ja sille annetaan nimi *U2*. Mikropiireihin tulee paljon kytkentöjä, joten kohdentaminen on tärkeää, jotta piirikaavio pysyy luettavana.



Kuvio 6. Emolevyn mikropiirit jaettuna lohkoihin

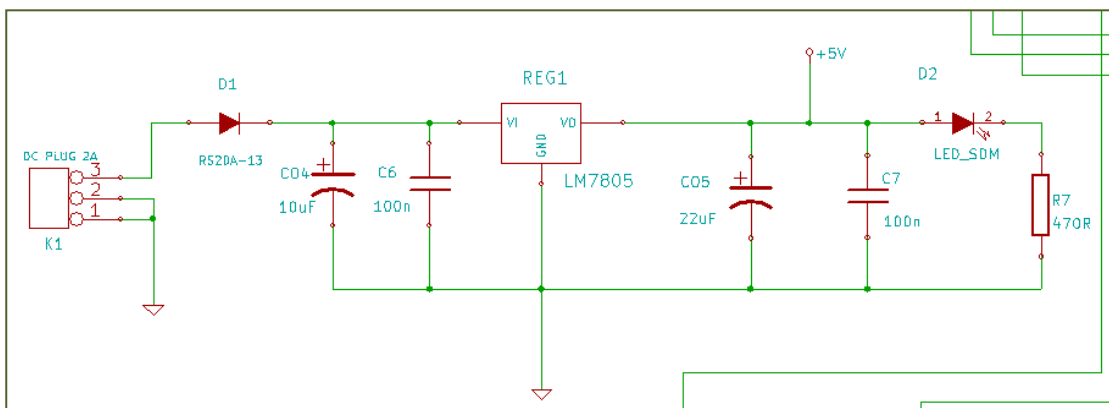
U1-mikropiiri jakautuu toiminnaltaan neljään eri porttiin: A, B, C ja D. Rajauksen ulkopuolisiin pinneihin tuodaan käyttöjännite (*VCC*), maadoitus (*GND*), kelloaajuus (*XTAL1*, *XTAL2*) sekä mikropiirin nollaus (*RESET*).

- A- portti.** Portin päätehtävänä on toimia AD-muuntimena, eli se muuttaa analogisen signaalin digitaaliseen muotoon. Tämän portin lisäksi tulee Adc-kortti.
- B- portti.** Portin kautta hoidetaan ulkoisia liitäntöjä: Analogisen vertailijan, ohjelmointiliitäntän datan liitännät sekä liitännät kelloaajuuksille. Portin kautta ohjataan myös lisäksi kytkettävää Led-korttia.
- C- portti.** Portin kautta hoidetaan ulkoisia liitäntöjä, eli voidaan lähettää ja vastaanottaa dataa lisäksi kytkettävän liitinkortin kautta.
- D- portti.** Portti sisältää sarjaliitännät datalle. Lisäkorttina trimmer-kortti.



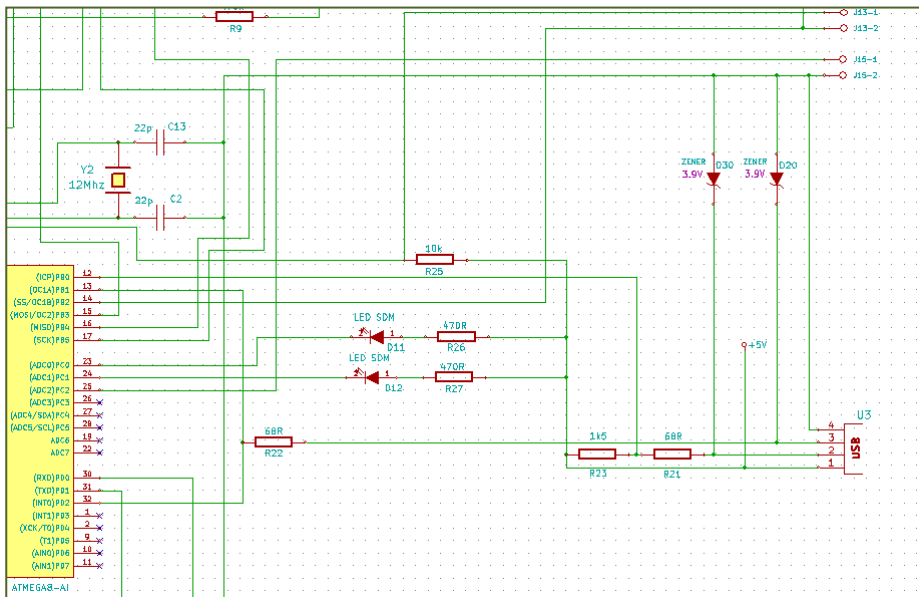
Kuvio 8. Kellotaajuus kytkennät piireille U1 ja U2.

Käyttäjännite emolevyllä tuodaan *DC-liittimen* kautta. Jännitteen tulee olla mahdollisimman häiriötön, koska mikropiirit eivät kestä suurta jännitevaihtelua. Häiriöt jännitteestä poistetaan diodilla sekä regulaattorilla *LM 7805*. Diodi (*D1*) estää negatiivisen jännitteen kulun ja regulaattori (*REG1*) tasaa jännitteen +5 volttiin. Kytkennän kondensaattoreiden tehtävänä on helpottaa regulaattorin toimintaa, koska ne hidastavat mahdollisia jännitemuutoksia.



Kuvio 9. Käyttäjännitteen kytkentä

Emolevyä ohjelmoidaan tietokoneella, josta koodi siirretään levyllä USB-väylää pitkin.



Kuvio 10. Universal Serial Port (USB) - väylän kytkentä

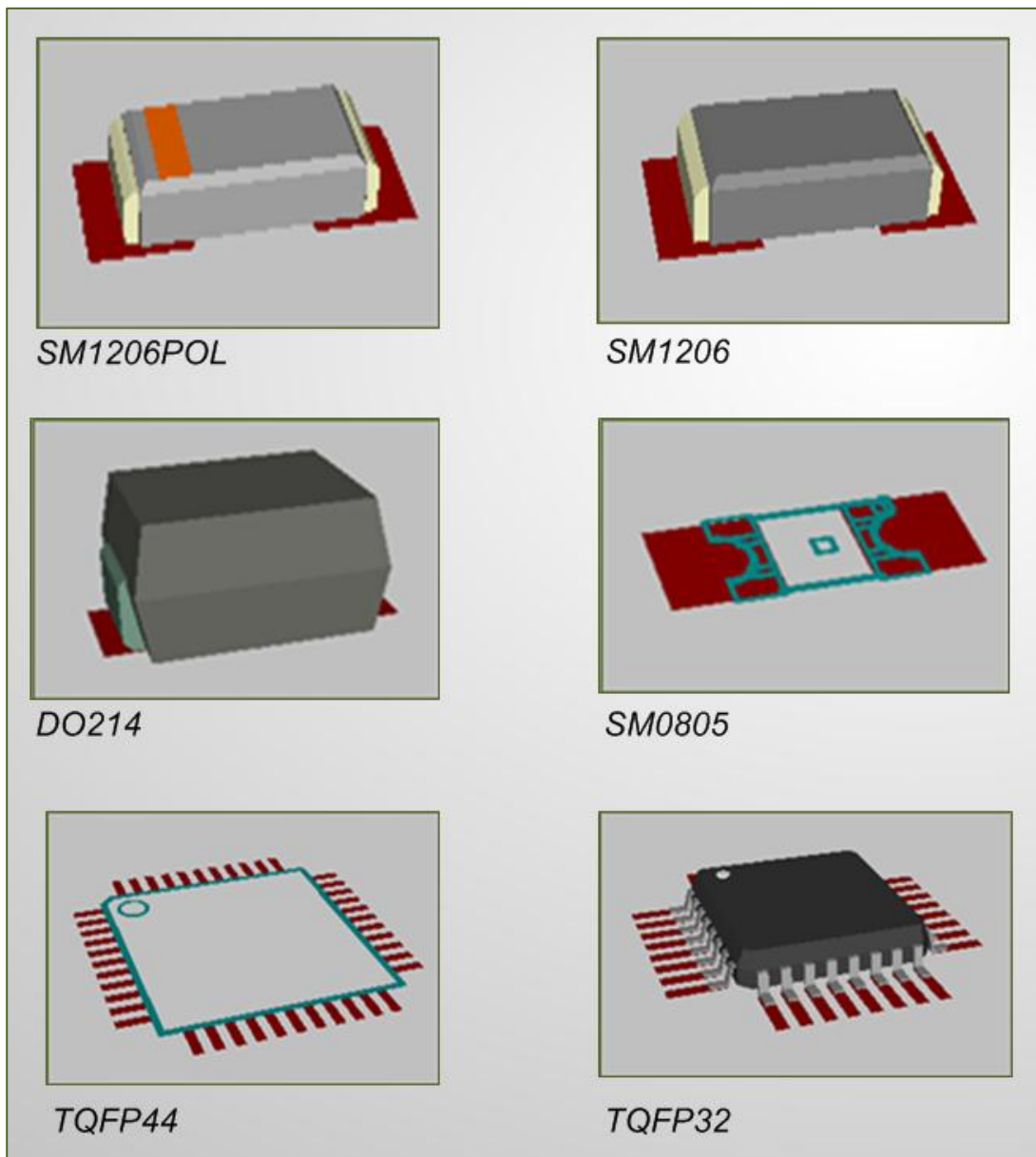
5.1 Liitostiedosto

Korttien piirikaaviossa komponentit ovat vielä symbolisessa muodossa. Niiden sähköinen toiminta on määritelty, mutta fyysistä muotoa (koteloa) niillä ei vielä ole. Kotelotyypin määrittelyä varten piirikaaviot ladataan CvPCB-ohjelmalle, jolla määritellään kotelojen tyyppi ja koko.

5.2 Pintaliitoskomponentit (SMD)

Vastuksien (R) ja kondensaattoreiden (C) kotelotyyppiä valitaan yleisesti käytetty CHIP, eli palakomponentti. Komponentin tyyppiä valitaan SM1206. Tämä tarkoittaa, että komponentti on pintaliitoskomponentti. Sen pituus on 0,12 tuumaa ja leveys 0,06 tuumaa. Markkinoilla on saatavilla pienempiäkin kotelotyyppisiä, mutta tämän mittainen komponentti on mahdollista tarvittaessa kiinnittää myös käsin juottamalla. Suunnallisille kondensaattoreille (CO) valitaan kotelotyyppiä SM1206POL. Tehodiodille $D1$ sekä Zenerdiodeille $D20$ ja $D30$ valitaan kotelotyyppiä DO214. Ledien kotelona käytetään kotelotyyppiä SM0805.

Mikropiirien kotelot määräytyvät komponentin pinnien eli jalkojen lukumäärän mukaan. *U1*-mikropiirille tulee koteloksi TQFP44 ja *U2*-mikropiirille TQFP32.

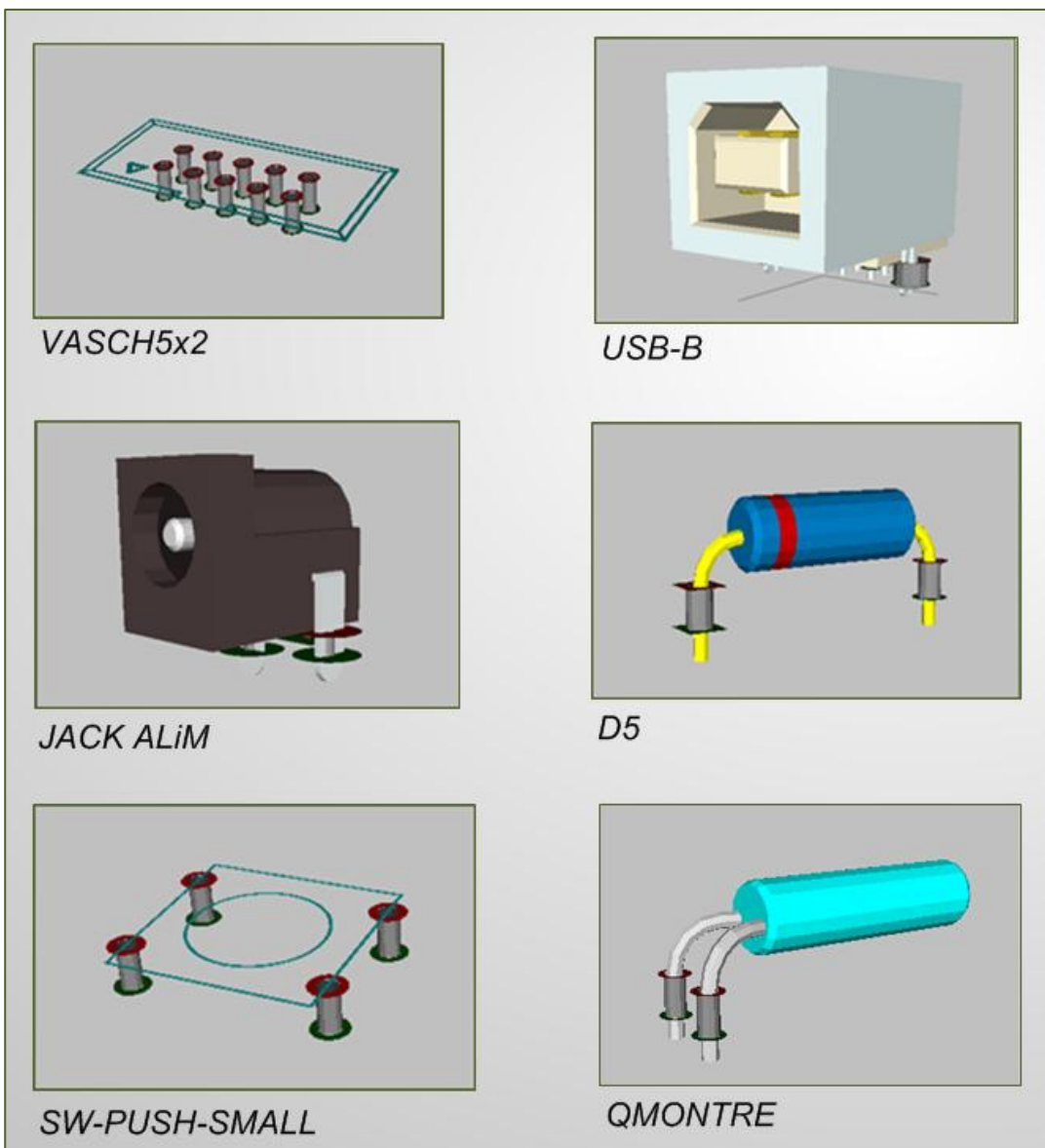


Kuvio 11. Pintaliitoskomponenttien kotelotyypit

5.3 Lämpiladottavat komponentit

Kaikki lämpiladottavat komponentit asennetaan piirilevylle käsinjuottamalla.

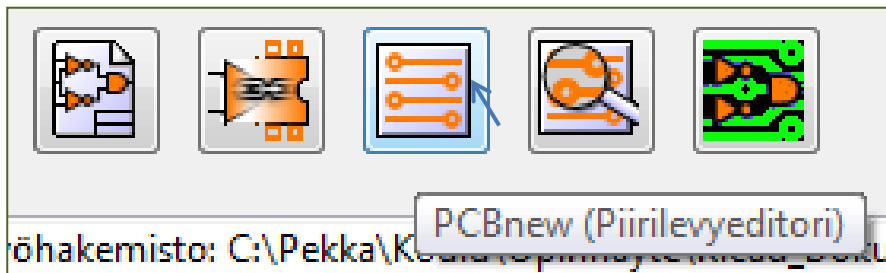
Kiteiden Y1 ja Y2 koteloksi valitaan metallikuorinen HC-33UV sekä pienempi taajuuksisella kiteelle X1 koteloksi QMONTRE. USB-liittimelle valitaan kotelotyyppi USB-B. Liittimille CON1-CON4 sekä CON14 valitaan koteloksi VASCH5x2. Tasajännite liittimelle K1 koteloksi Jack-alim ja reset -näppäimelle S1 SW-PUSH-SMALL. Zenerdiodeille D20 ja D30 kotelo D5.



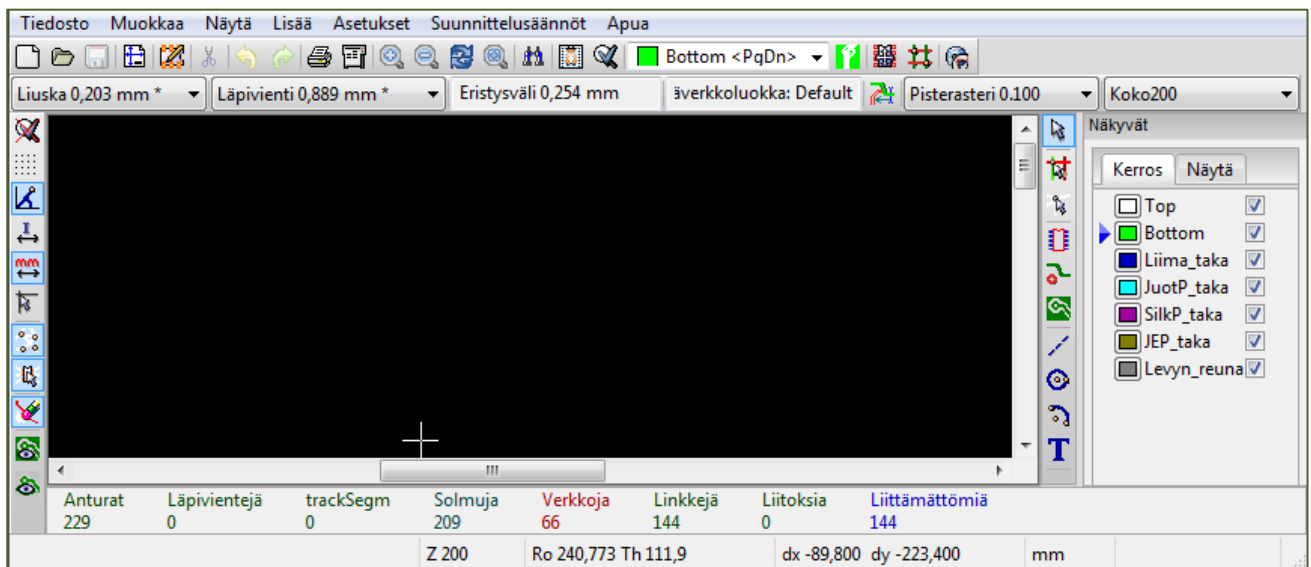
Kuvio 12. Lämpiladottavien komponenttien kotelotyypit

6. PIIRILEVYSUUNNITTELU

Piirilevy suunnittelun viimeisenä vaiheena suunnitellaan itse piirilevy. ”Komponenttialustaa nimitetään yleisesti piirikortiksi. Nimitys ei ole aivan osuva, sillä piirikortti sisältää muutakin kuin kortin, nimittäin johtimia ja liitospisteitä” (Sköld 2000, 22). Varsinaisen piirilevyn suunnittelu ja toteutus tehdään PCBNew-ohjelmalla. Ohjelma avataan päävalikon kuvakkeesta.

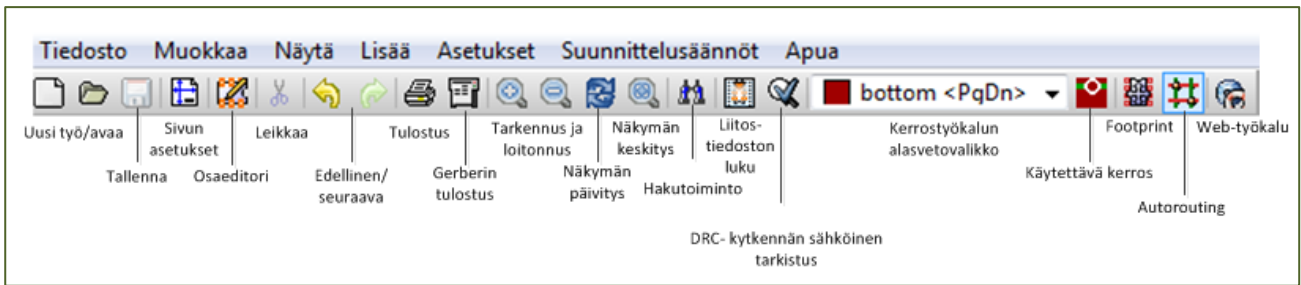


Kuvio 13. PCBNew pikakuvake



Kuvio 14. PCBNew -ohjelman aloitusnäky

PCBNew-ohjelman aloitusnäky on looginen ja selkeä. Ylimmän palkin alavetovalikosta pääsee muokkaamaan kaikkia ohjelman asetuksia sekä suunnittelusääntöjä. Tärkeimmille ja eniten muokattaville asetuksille ovat myös graafiset pikakuvakkeet, joista niitä on helppo ja nopea hallita.

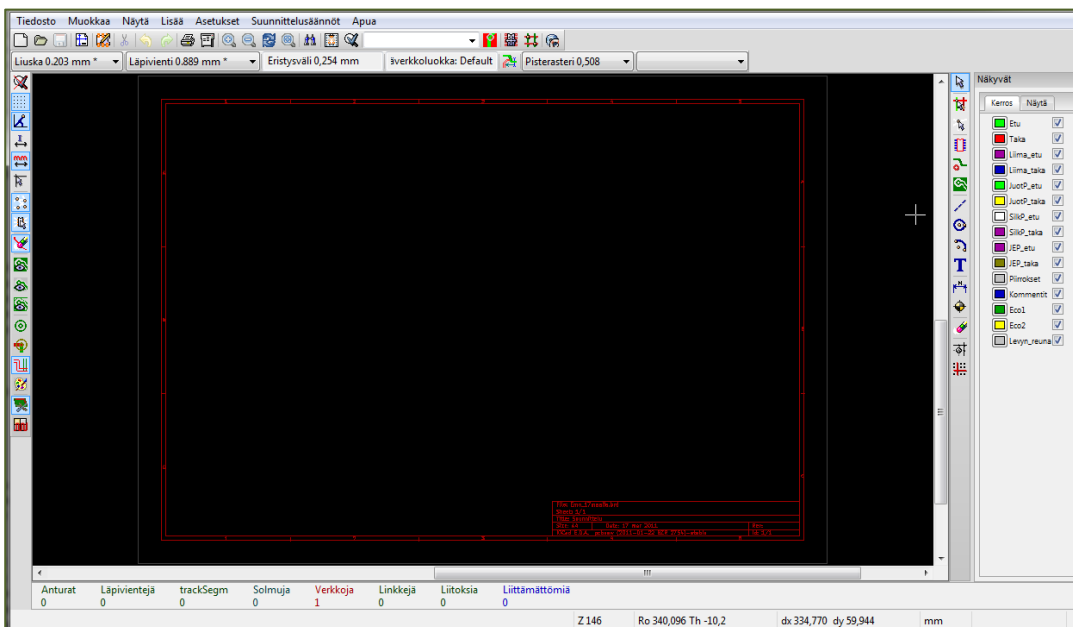


Kuvio 15. Ylävalikon pikakuvakkeiden merkitykset

Myös ohjelmassa käytettäviä pikanäppäimiä pääsee muokkaamaan käyttäjäkohtaisiksi, niiden käytön opetteleminen nopeuttaa suunnittelua huomattavasti. Sivupalkkeihin käyttäjä voi halutessaan lisätä hyödyllisiä ominaisuuksia, joilla voi nopeuttaa suunnittelutyötä.

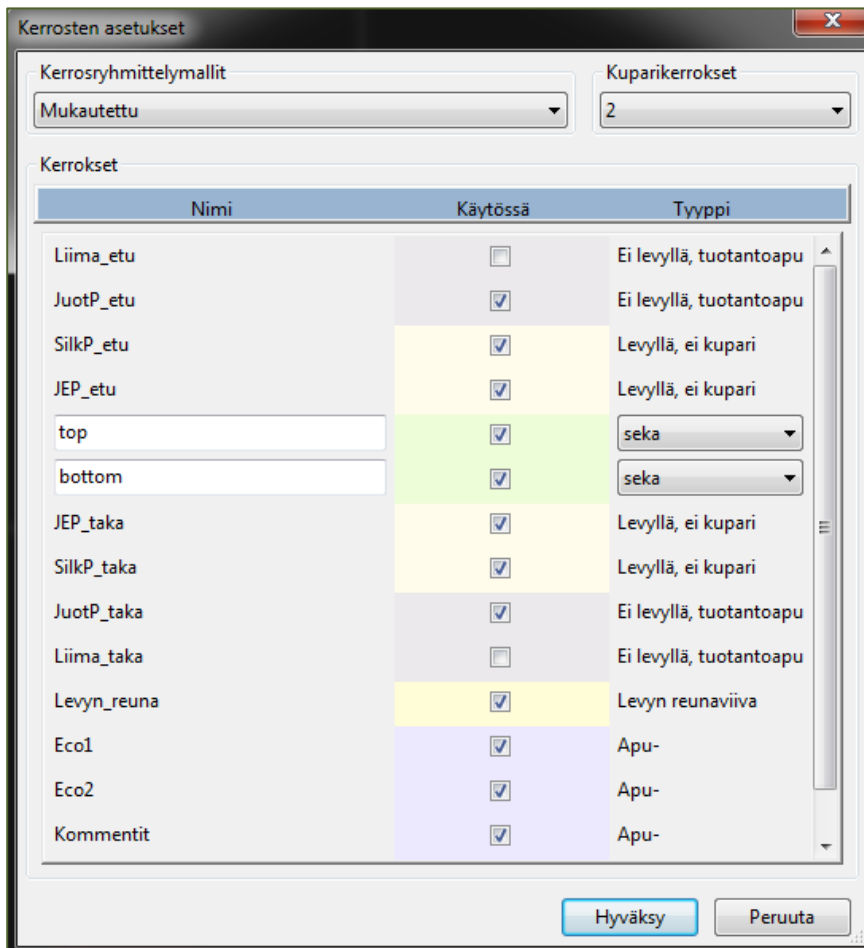
6.1 Asetusten määrittäminen uudelle työlle

Ohjelman avautumisen jälkeen valitaan uusi työ ja nimetään se "Emokortiksi".



Kuvio 16. Uuden työn aloitusnäkömä

Suunnittelun ensimmäisessä vaiheessa valitaan piirikortilla käytettävien kerrosten lukumäärä. Lukumäärällä tarkoitetaan kuparoituja sekä ladottuja piirilevyn pintoja. Yleisimmin piirilevyissä käytetään 1–16 kerrosta. Komponentteja normaalille piirilevyille voidaan latoa ylä- ja alapuolelle, joten muut kerrokset tulevat piirilevyn sisälle. ”Kaksipuolisen levyn vaihtoehto olisi monikerroslevy, jossa maa ja käyttöjännite kulkisivat levyn välissä johtavina tasopintoina.” (Reitmaa 2001, 35). Kerroksien lisääminen piirilevyille lisää myös piirilevyläminaanin kustannuksia, joten ei ole kannattavaa lisätä kerroksia, mikäli niille ei ole oikeaa tarvetta. ”Kaksipuolinen levy on kuitenkin usein ainoa vaihtoehto hintaherkissä kaupallisissa sovelluksissa tai tiukan budjetin rajoissa toimittaessa” (Reitmaa 2001, 35). Tämän piirilevyn arkkitehtuuri ei ole monimutkainen, joten se suunnitellaan kaksikerroslevyksi, jonka molemmille pinnoille tulee sekä kuparointi että komponentteja. Tuotannollisuussyistä pintaliitoskomponentit ja läpivientikomponentit ladotaan eri puolille.



Kuvio 17. Kerrostyökalu

Avataan ohjelman suunnittelusäännöistä kerrosten asetukset ja valitaan ensimmäisenä kerroksissa olevien kuparointien määrä. Tämän jälkeen valitaan aktiiviseksi levyn etu- ja takapuolelle juotospisteet, silkkipaino merkintöjä varten sekä juotteenestopinnoite niihin kohtiin, joihin ei haluta juotetta tulevan. Ei-aktiiviseksi voidaan jättää liimapisteiden luonti molemmille puolille. Liimapisteitä tarvitaan aaltojuotoksessa pintaliitoskomponenttien paikallaan pysymiseen. Tätä korttia ei suunnitella aaltojuotosprosessiin soveltuvaksi vaan läpivientikomponentit asennetaan ja juotetaan käsin. Annetaan piirilevyn etupuolelle nimi: *Top*, ja alapuolelle nimi: *Bottom*. Käydään suunnittelusäännöistä vielä tarkistamassa, että ohjelman oletustyyppinä läpi-vienneille ovat läpireiät, eikä piiloläpireiät.

Seuraavaksi valitaan aloitussivun oikeasta reunasta värit jokaiselle eri näkymälle. Piirilevyn suunnittelussa on tarkoituksena pitää kaikki elementit näkyvissä, joten värien valintaan tulee kiinnittää huomiota, jotta suunnittelutyö säilyy visuaalisesti selkeänä.

6.2 Emokortin piirilevyn suunnittelu

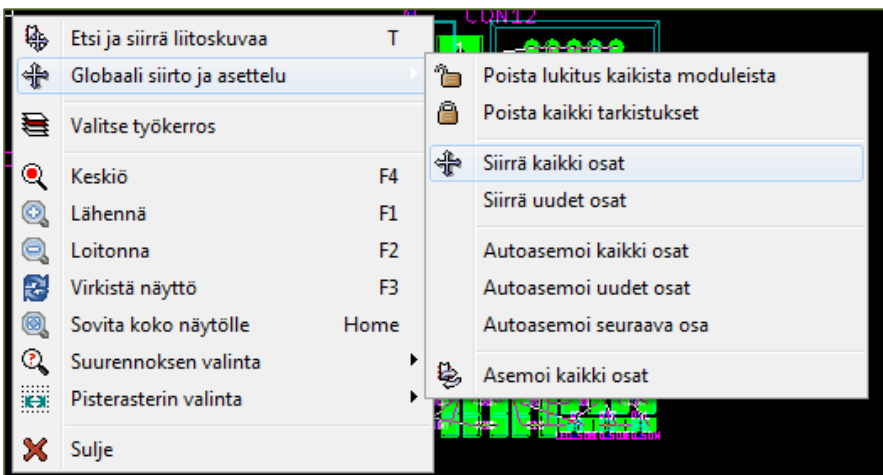
Ensimmäiseksi piirretään piirikortin reunat, eli määritellään piirikortin fyysiset mitat. Reunojen piirtämisessä käytetään aputyökaluna oikeasta sivupalkista löytyvää mittamerkintätyökalua, eli piirretään ensin x- ja y-suunnissa halutun mittaiset janat mittatyökalun avulla, jonka jälkeen piirretään janojen mukaisesti (tässä työssä suorakulmaiset) piirilevyn reunat.



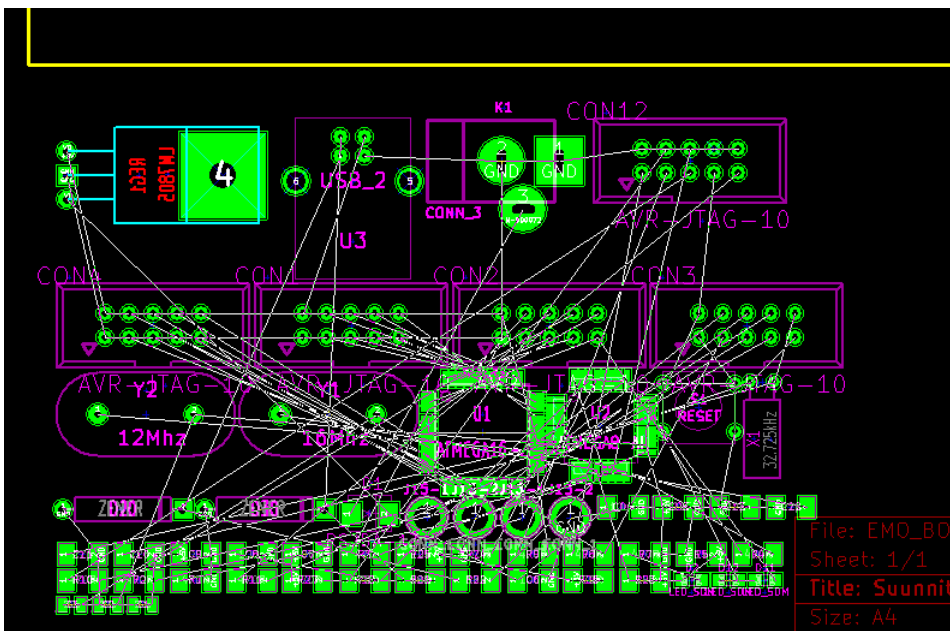
Kuvio 18. Emokortin reunojen määrittäminen mittamerkintöjen avulla

Seuraavaksi ladataan emokortille aiemmin luotu materiaalilista (liitostiedosto). Ohjelma lataa kaikki materiaalilistan tiedot ja asettaa ne päällekkäin kortin ulkopuolelle.

Yläpalkista aktivoidaan Footprint-toiminto, jolla komponentit voidaan ladata joko täysin automaattisesti tai automaatin avustamana. Valitaan kerrosasetuksista työskentelykerrokseksi *Bottom*, siirretään kursori haluttuun kohtaan työalueella ja valitaan ”Globaali siirto ja asettelu → ”Siirrä kaikki osat”. Tässä vaiheessa olisi myös voitu käyttää autoasemointia, mikäli kortti olisi yksinkertainen, eikä olisi tiedossa mitään suunnittelurajoituksia.

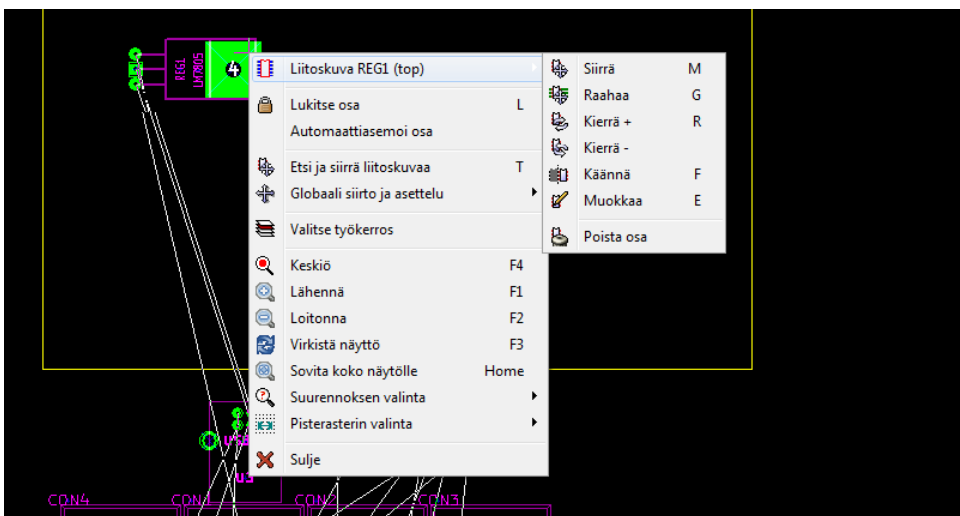


Kuvio 19. Kaikkien osien siirto



Kuvio 20. Komponentit automaattisen siirron jälkeen

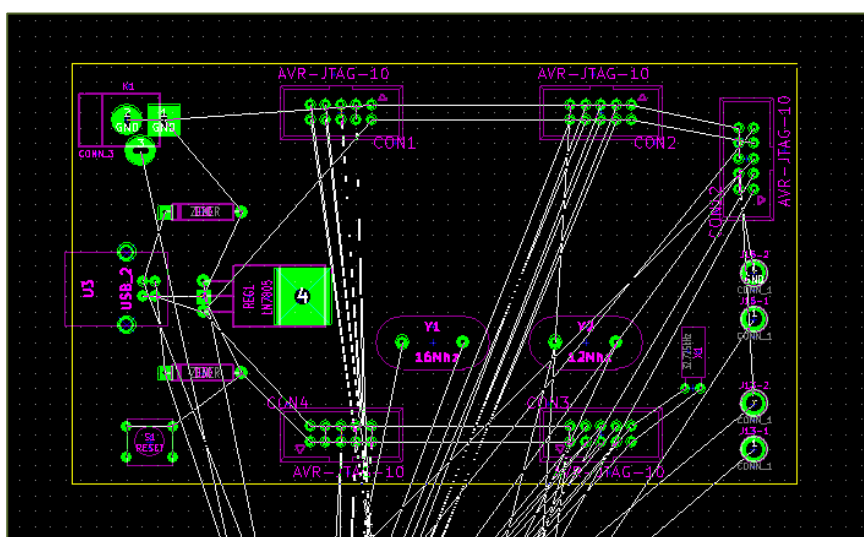
Kaikki piirilevyllä asennettavat komponentit ovat edelleen piirilevyn rajojen ulkopuolella, mutta ne ovat erillään toisista fyysisessä suuruusjärjestyksessään. Ennen siirtoa puoleksi valittiin "Bottom", jotta pintaliitoskomponentit olisivat valmiiksi niille tarkoitetulla puolella piirilevyä. Läpivientikomponentit ovat usein isompia koska muuten ne olisi korvattu pintaliitoskomponenteilla, ja niitä on vähemmän, joten niitä on helpompi siirtää manuaalisesti toiselle puolelle levyä.

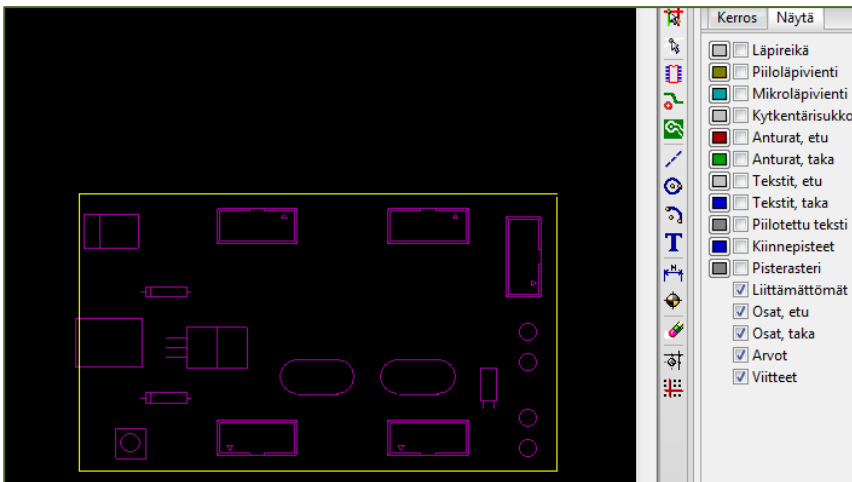


Kuvio 21. REG1, komponentin hallintaikkuna ja näppäinkomennot

Siirretään ensimmäiseksi komponentti (*REG1*) piirilevyn rajojen sisään komennolla ”Raa-haa” ja käännetään se piirilevyn ”Top”-puolelle komennolla ”Käännä” (Yksittäisen komponentin hallinta tapahtuu hiiren oikean napin kautta avautuvasta hallintaikkunasta). Tässä vaiheessa komponentin väri ja sen nimessä suluissa oleva lisäys ilmoittaa komponentin olevan halutulla puolella. Valitaan komponentille paikka piirilevyltä ja lukitaan se, ”Lukitse osa” -toiminnolla. Lukitsemisen jälkeen komponenttia ei enää voida siirtää, eikä automaattiasemointi reagoi lukittuun komponenttiin.

Toistetaan samat toiminnot kaikille läpivientikomponenteille. Tässä vaiheessa valitaan käytettäväksi pisterasteri, jotta komponenttien väliset etäisyydet ovat helpommin hallittavaa ja komponentit ovat symmetrisesti toisiinsa nähden (tällä ei ole sähköistä merkitystä). Komponentit järjestellään siten, että ne ovat käytettävyydeltään järkevimmillä paikoillaan. Liittimet, joihin kiinnitetään lisäkortteja, asennetaan reunoille, ja niihin kytkeytyvät komponentit sijoitetaan myös fyysisesti niiden lähelle. Keskelle jätetään tilaa toiselle puolelle tuleville mikropiireille.

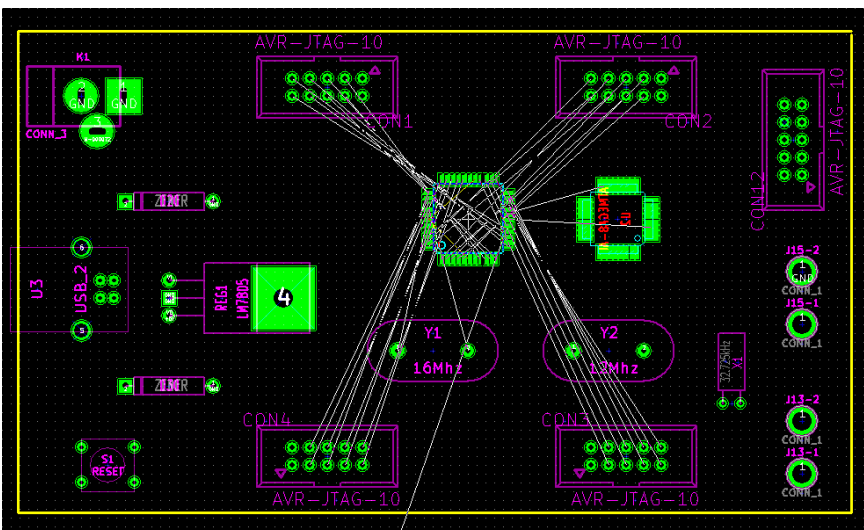




Kuvio 23. Läpivientikomponenttien asemoinnin tarkistus

6.3 Pintaliitoskomponenttien asemointi

Vaihdetaan asetuksista työpuoleksi "Bottom". Ensimmäiseksi asetetaan paikoilleen mikropiirit *U1* ja *U2*. Kuvioista 24 nähdään, että mikropiirien asemoinnin miettiminen on tärkeää, koska niihin tulee eniten kytkettäviä johtimia. Lukitaan myös mikropiirien asennus.



Kuvio 24. Mikropiirien asemointi piirilevyllä

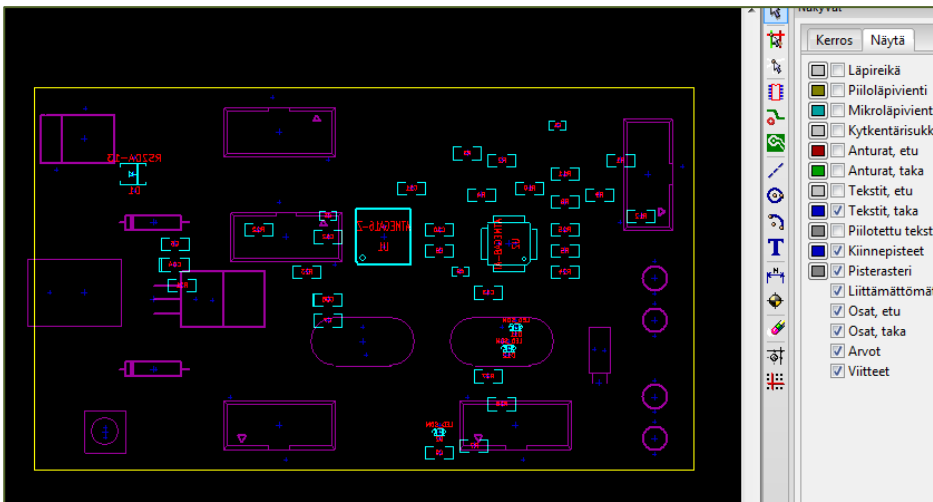
Isoimmat komponentit ovat nyt asemoituna lopullisille fyysisille paikoilleen piirilevyllä. Jäljellä olevat komponentit voidaan asentaa samalla tavalla manuaalisesti, kuten edellisekin

komponentit. Nopeinta on kuitenkin käyttää ohjelman sisälle rakennettua ”autoasemointi” -toimintoa. Tässäkin toiminnossa voidaan asentaa kaikki lukitsemattomat komponentit kerralla tai yksitellen.



Kuvio 25. Komponenttien automaattiasemointi

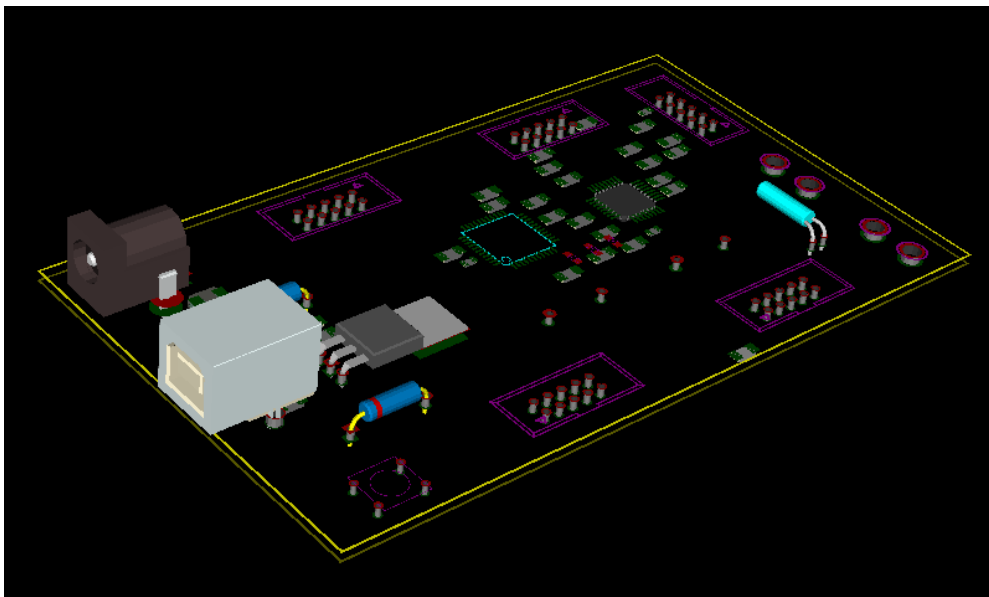
Automaattisessa asemoinnissa ohjelma ottaa yksittäisen komponentin ja sovittaa sitä joko kaiseen vapaaseen kohtaan piirilevyllä, minkä jälkeen ohjelma valitsee komponentille parhaimman paikan. Automaattinen asemointi vie aikaa ja vaatii koneelta tehoa, mikä ei nykyisellä konekannalla ole suuri ongelma. Asemoinnin jälkeen tarkistetaan komponenttien paikat, kuten läpivientikomponenttienkin kohdalla tehtiin.



Kuvio 26. Komponentit automaattiasemoituna

Tässä vaiheessa yleensä havaitaan, jos suunnittelutyössä tai automaattiasemoinnissa on tapahtunut virhe. Ohjelma mahdollistaa komponenttien siirtämisen manuaalisesti, mikäli ohjelma on asentanut ne loppukäytön tai toiminnan kannalta huonosti. ”Autoasemoi uudet osat” -komennolla voidaan asentaa uudelleen suunniteltuja komponentteja, jos virhe on tapahtunut koteloinnin valinnassa tai piirikaavion teossa. Komponentit voidaan aina uudelleen asemoida, mikäli muutoksia on jouduttu tekemään paljon.

Tämän piirilevyn ensimmäinen havaittu virhe liittyi huolimattomuuteen, eli liitin (CON 2) oli jäänyt lukitsematta, jolloin ohjelma automaattisesti asemoi sen keskelle levyä (Kuvio 26). Toinen virhe liittyi käytettävyyteen. Käytettävyyttä ajatellen on järkevää, että käyttäjä näkee piirilevyllä olevat diodit, joten ne siirretään rinnakkain samalle puolelle läpivientikomponenttien kanssa. Tuotannon kannalta tämä tarkoittaa, että diodit pitää asentaa käsin juottamalla yhdessä läpivientikomponenttien kanssa. Siirron jälkeen automaattinen asemointi voidaan suorittaa uudelleen, jolloin siirrettyjen komponenttien paikoille ei jää komponenteista vapaata ”aukkoa”. Uudelleen asemoinnin jälkeen piirilevyn ulkonäköä voi tarkastella myös kolmiulotteisena (Kuvio 27).

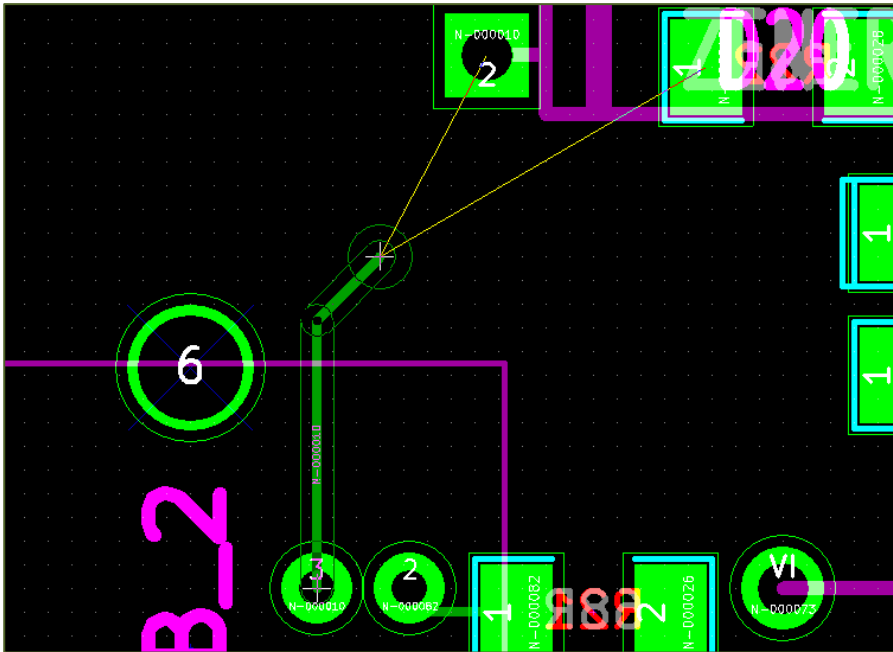


Kuvio 27. Komponenttien asemat kolmiulotteisena

Komponentit ovat nyt asennettu, mutta niiden välisiä kytkentöjä ei ole vielä määritettynä. Kytetään yläpalkista "Footprint" -toiminto pois päältä ja kytetään sen vierestä "Auto-routing" -toiminto päälle. Se keskittyy sähköisten johdotusten hallintaan, samalla tavalla kuin "Footprint" keskittyi komponentteihin.

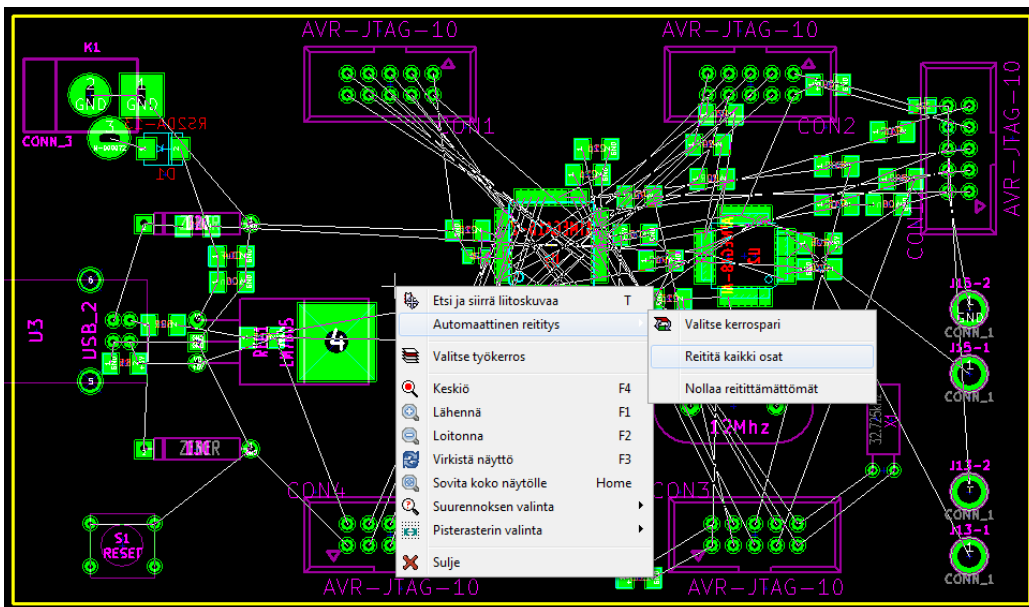
On mahdollista suorittaa reititys täysin automaattisesti, mutta tällöin on vaikeampaa hallita sen onnistumista. Tämän takia reititetään manuaalisesti tärkeimmät komponentit ja linjat, minkä jälkeen voidaan lopuille suorittaa automaattinen reititys.

Kytetään ohjelmasta *kytkentärisukko* pois käytöstä ja valitaan käyttöön vain yksittäisen komponentin risukon näyttäminen. Tällä toiminnalla työalue pidetään selkeänä, eikä muiden kuin työstettävän komponentin kytkennät häiritse tekemistä. Ohjelma auttaa reitittimen teossa, sillä se näyttää jatkuvasti vaihtoehtoja kytkennän vedolle (Kuvio 28). Säädetään asetuksista. "2-kerrospiirilevy, johtimien leveys: 0,2032 mm, eristeväli: 0,2032 mm sekä rasterileveys: 16 2/3 tai 8 1/3, rasterin käyttö helpottaa johdinten sijoittamista siten, että eristevälit toteutuvat" (Tikkanen 2004, 209).



Kuvio 28. Piirilevyn johtimien manuaalinen reititys apurisukkojen avulla

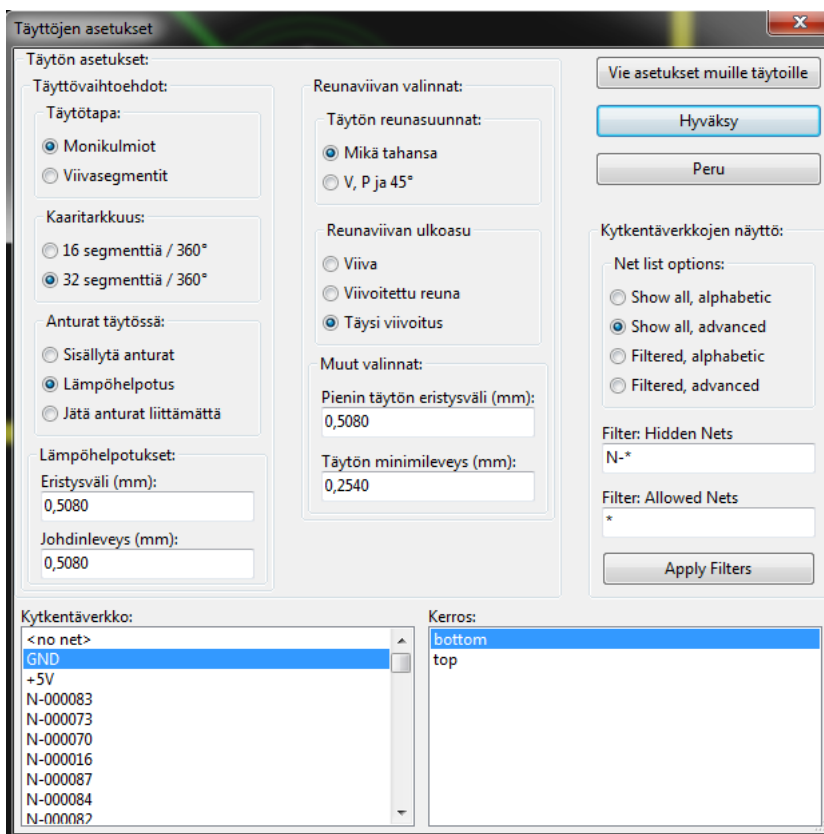
Suoritetaan levyn lopuille johtimille automaattinen reititys (Kuvio 29).



Kuvio 29. Johtimien automaattisen reitityksen valinta

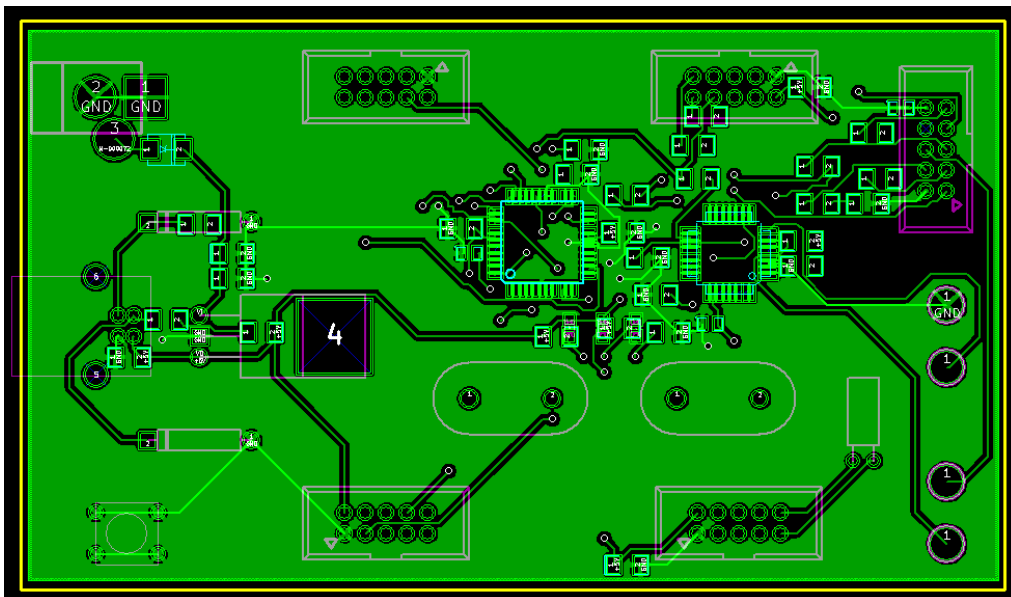
6.4 Emokortin kuparialueen täyttö

”Usein piirikortin vapaa tila halutaan valuttaa täyteen kuparialuetta, joka kytketään maapotentiaaliin. Tämä parantaa kortin häiriönsietoa ja vähentää kortin aiheuttamaa häiriösaiteilyä” (Tikkanen 2004, 218). Kuparialueen täyttö aloitetaan valitsemalla ohjauspaneelista ”Add filled zones” -komento, tämän jälkeen valitaan kortin kulmasta lähtöpiste täyttöalueen piirtämiselle. Ohjelma avaa täyttöasetusvalikon, josta päästään antamaan täytölle tarkempia asetuksia. Valitaan kuparialueeseen liitettäväksi maalinja (GND), täyttötavaksi monikulmiot, kaaritarkkuudeksi 32 segmenttiä (siistimpi jälki) sekä anturien täyttöön lämpöhelpotuksen.



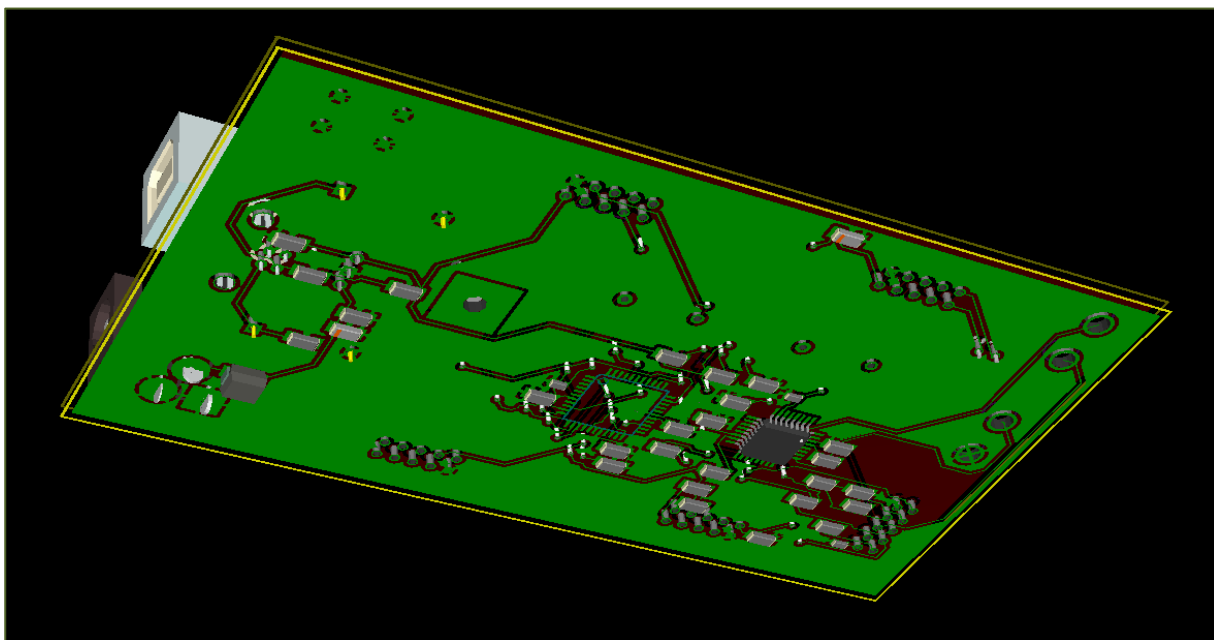
Kuvio 30. Täyttöalueen valinta-asetukset

Asetusten valitsemisen jälkeen piirretään koko piirikortin alueelta kehikko. Tämän jälkeen hiiren oikean näppäimen kautta avautuu valintaikkuna, josta valitaan ”täytä kaikki täytöt”.

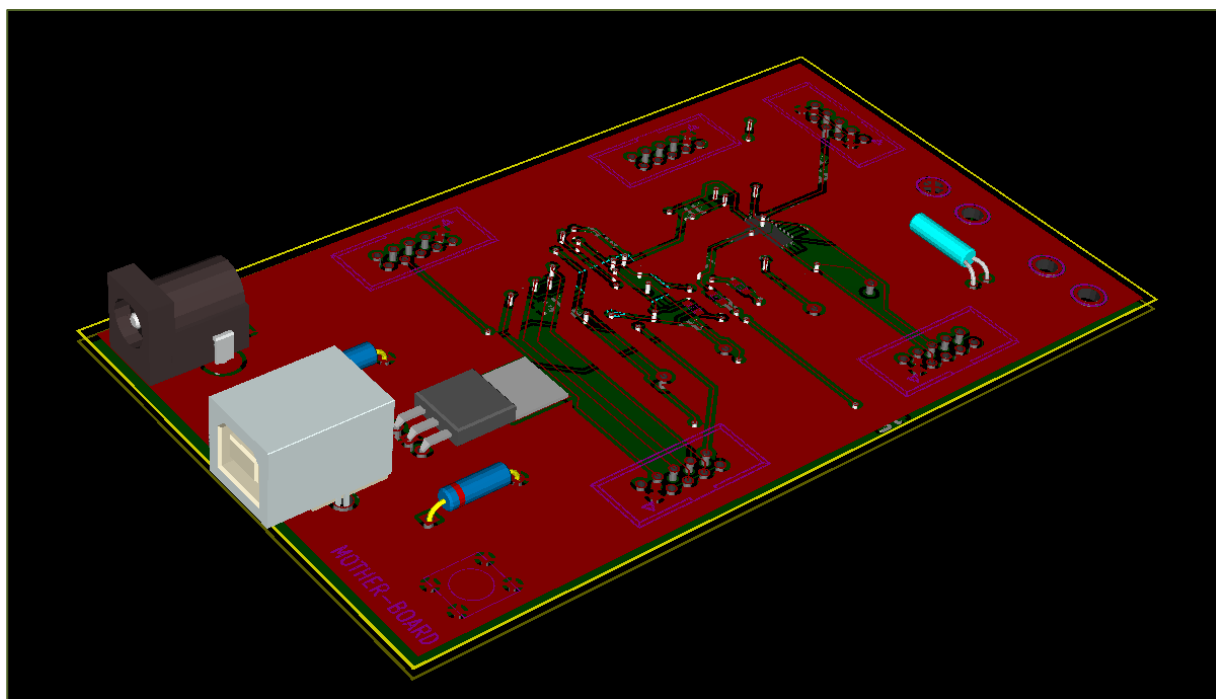


Kuvio 31. Bottom-puoli, automaattisen kuparitäytön jälkeen

Automaattitäyttö täyttää ja yhdistää piirilevyn kaikki maa-alueet toisiinsa. Maa-alueet kiinnittyvät niihin liitettäviin juotosalueisiin ristikon muotoisilla kangaksilla, joita kutsutaan ”lämpöheltottimiksi”. Näiden helpottimien tarkoitus on sananmukaisesti helpottaa kyseisen juotospisteen juottumista, koska juotoslämpö ei pääse leviämään ympäristöön kangasten kautta. Tällöin saavutetaan parempi juottuminen niin konejuotoksessa kuin juotoskolvilla-kin. Toteutetaan samat toiminnot myös toiselle puolelle levyä.



Kuvio 32. Piirilevyn Bottom



Kuvio 33. Piirilevyn Top

7. LISÄKORTTIEN SUUNNITTELU

7.1. Lisäkorttien piirikaaviot ja liitostiedostot

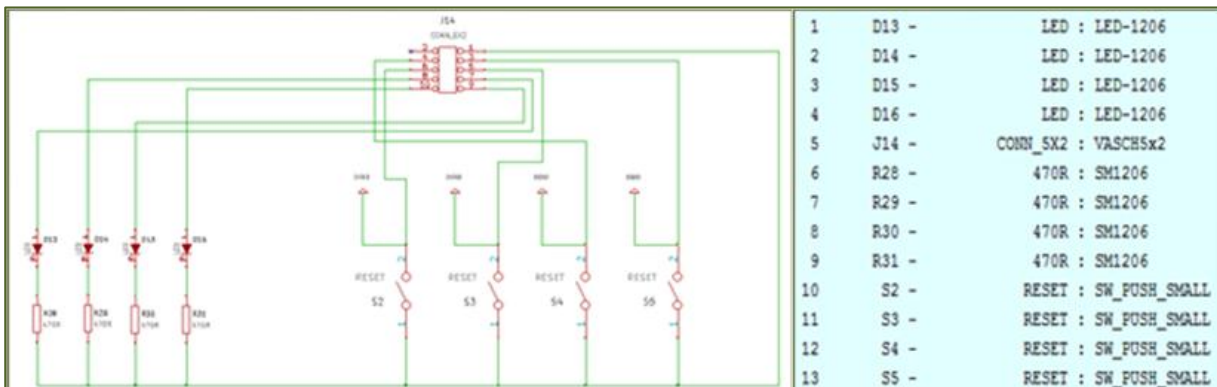
Emokortille tulevat lisäkortit:

- BUTTONS-BOARD,
- LED-BOARD,
- TRIMMER-BOARD,
- COM-BOARD,
- ADC-BOARD.

Piirikaavioiden ja liitostiedoston suunnittelussa käytetään samoja asetuksia, kuin käytettiin emokortin suunnittelussakin. Valituissa komponenteissa pätevät myös samat kriteerit, eli ne pitää pystyä juottamaan käsijuotosmenetelmällä.

7.1.1 Buttons-piirikaavio ja liitostiedosto

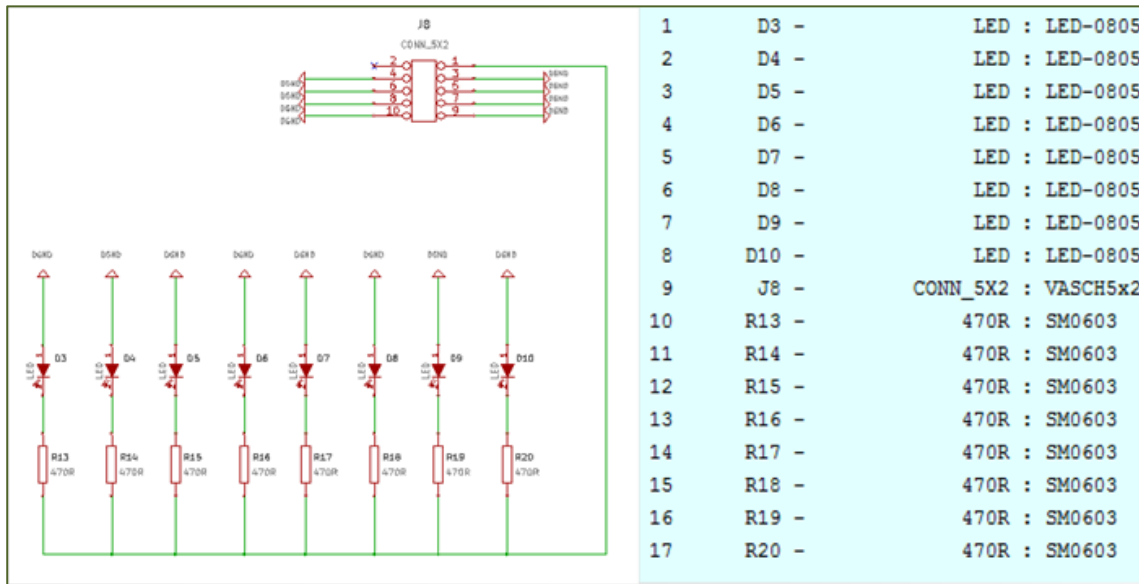
Buttons-kortti kytketään emokortille *J14* (CONN5x2) -liittimen kautta. Liittimeen on kytketty virtapiirit (4kpl), jotka sisältävät ledin sekä etuvastuksen. Ledejä ohjataan näppäimillä, joilla virtapiiri suljetaan (kytketään päälle).



Kuvio 34. Buttons-kortin piirikaavio sekä liitostiedosto

7.1.2 Led-piirikaavio ja liitostiedosto

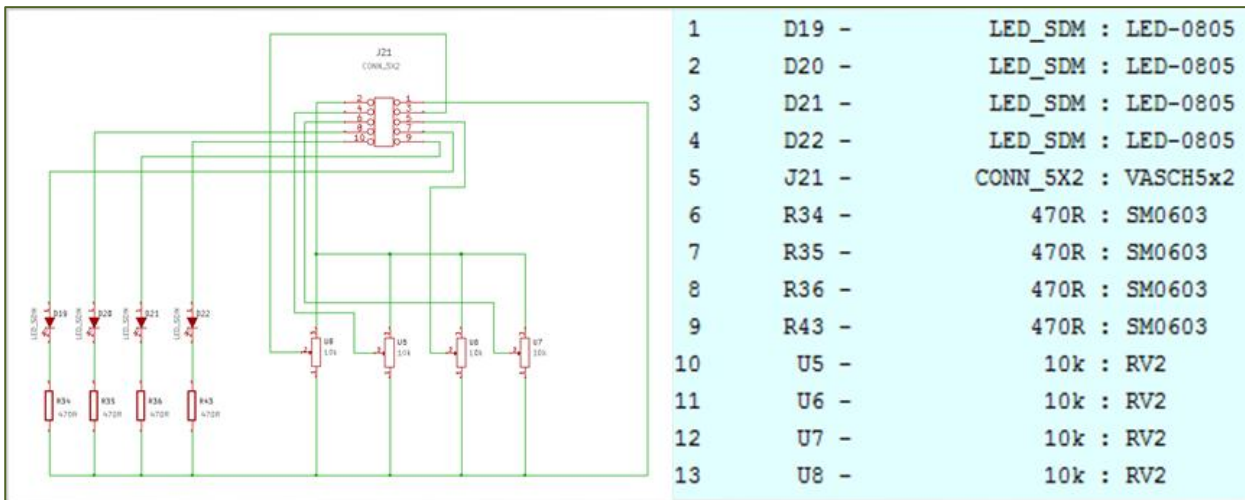
Led-kortti kytketään emolevylle liittimen *J8* kautta. Kortti sisältää liittimen lisäksi 8 lediä ja niiden etuvastukset.



Kuvio 35. Led-kortin piirikaavio ja liitostiedosto

7.1.3 Trimmer-piirikaavio ja liitostiedosto

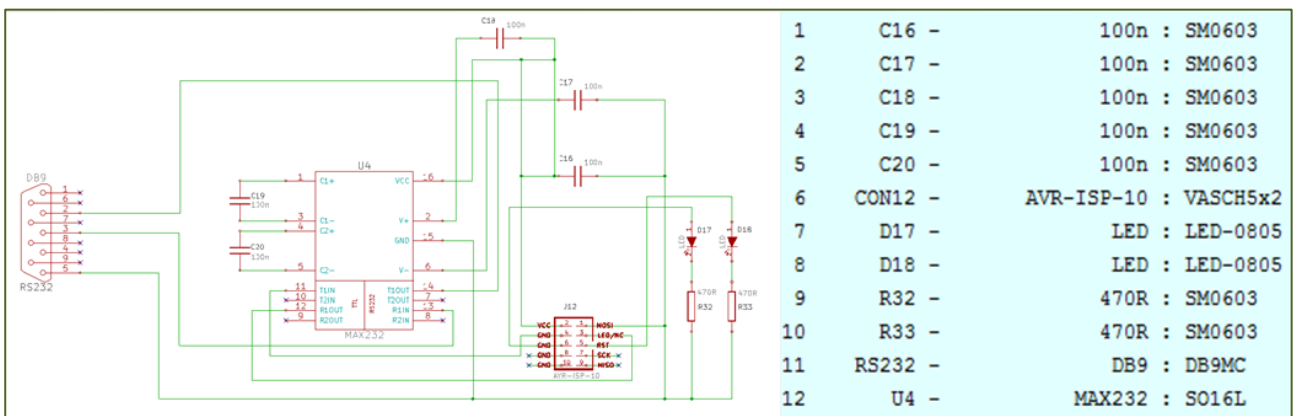
Trimmer-kortti kytketään emolevylle liittimen *J21* kautta. Kortti sisältää liittimen lisäksi neljä lediä etuvastuksineen, jotka on kytketty liukuvastuksiin. Liukuvastuksien arvoa voidaan muuttaa komponentin nuppia kiertämällä, jolloin ledien kirkkaus muuttuu.



Kuvio 36. Trimmer- kortin piirikaavio ja liitostiedosto

7.1.4 Com-piirikaavio ja liitostiedosto

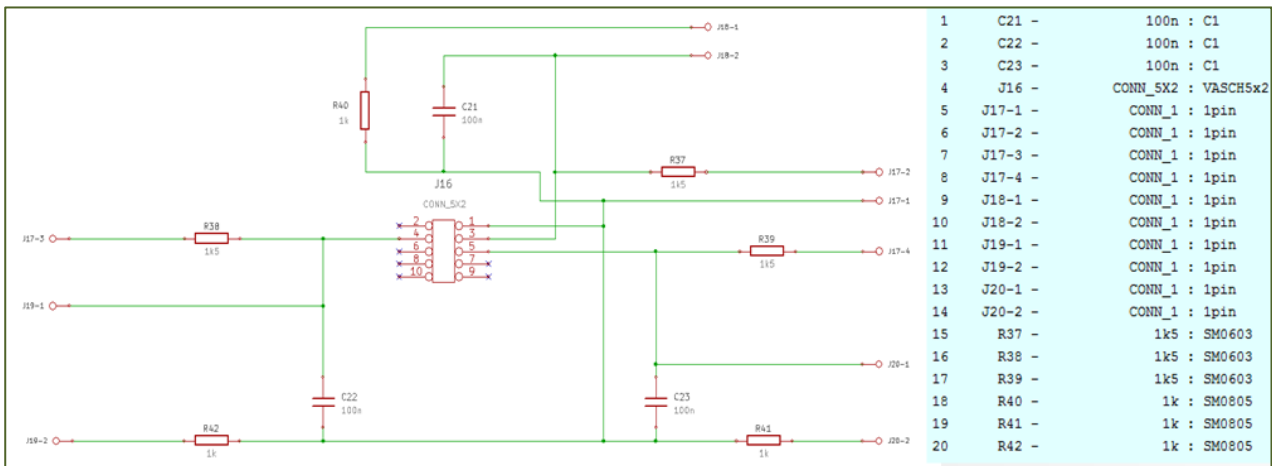
Com-kortti on lisäkorteista monimutkaisin. Kortti kytketään emolevylle liittimen *J12* (*CON12*) kautta. Tämän kortin avulla emokortti tunnistaa RS-232-sarjaliikenteen kautta lähetettyä dataa.



Kuvio 37. Com-kortin piirikaavio ja liitostiedosto

7.1.5 Adc-piirikaavio ja liitostiedosto

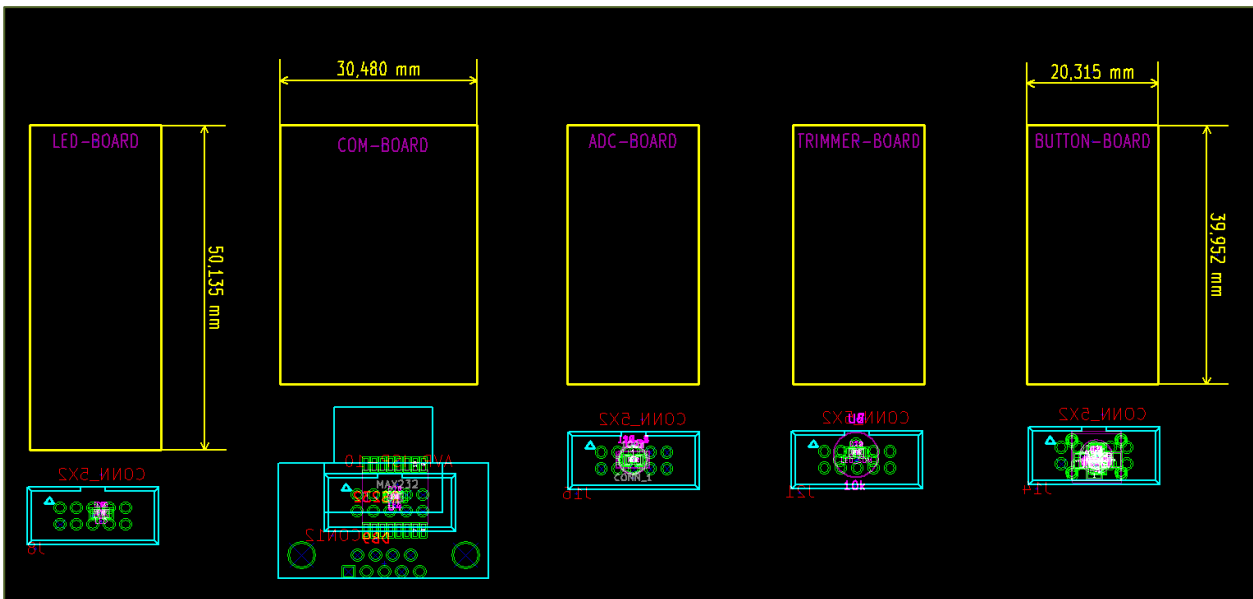
Adc-kortti liitetään emolevylle liittimen *J16* kautta. Kortin kautta emolevylle voidaan liittää ulkoisia analogisia mittalaitteita. Liittimen lisäksi kortille tulee vastuksia, kondensattoreita sekä liityntäpinnejä mittajohdoille.



Kuvio 38. Adc-board-piirikaavio ja liitostiedosto

7.2 Lisäkorttien piirilevyn suunnittelu

Lisäkorttien suunnittelussa käytetään samoja asetuksia, kerrosasetuksia sekä väripaletteja kuin käytettiin emokortin suunnittelussakin. Suunnittelun nopeuttamista ja yhdenmukaisuutta varten luodaan oma väliaikainen työ nimellä "Lisäkortit". Tähän työhön määritellään jokaisen piirilevyn fyysiset ulkomitat, nimetään kortit sekä ladataan jokaiselle piirilevylle komponentit liitostiedostoista. Yksittäistä korttia suunniteltaessa avataan tämä työ, poistetaan siitä muiden korttien tiedot ja nimetään se jäljelle jätetyn kortin mukaan (Tällöin "lisäkortit" säilyvät muuttumattomana ns. varmuuskopiona). Tällä tavalla varmistetaan, että kaikissa korteissa käytetään samoja asetuksia ja piirilevyistä tulee yhdenmukaisia.

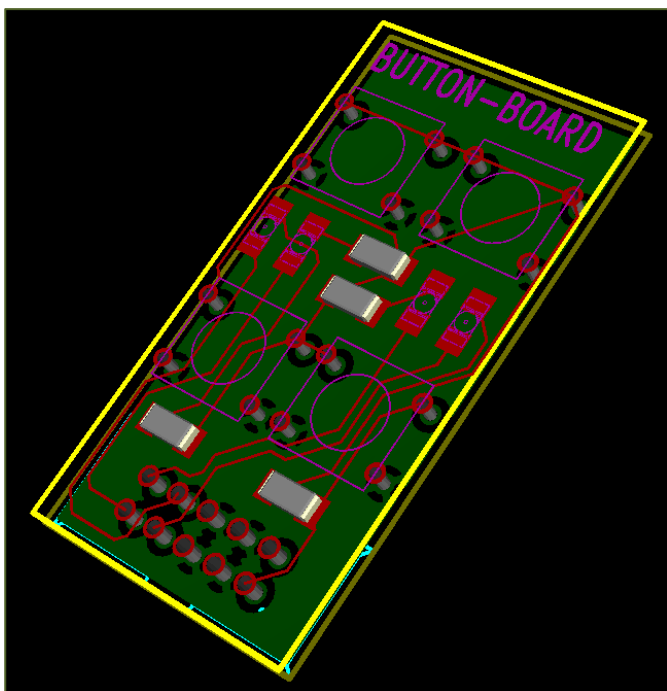


Kuvio 39. Lisäkorttien mitat sekä komponentit

7.2.1 Buttons-piirilevyn suunnittelu

Buttons-piirilevyn suunnittelu aloitetaan lataamalla Lisäkortit -tiedosto. Poistetaan työstä komponentit ja piirilevyn reunat Button-korttia lukuun ottamatta. Kytetään "Footprint" -toiminto päälle, jonka jälkeen asemoidaan ensimmäisenä liitin *J14* piirikortin (Top-puolelle) alalaitaan. Piirilevyn muut komponentit asennetaan piirilevyn toiselle puolelle, jotta ne ovat loppukäytössä käyttäjää kohti. Asemoidaan seuraavaksi näppäimet *S2* ja *S3* piirikortin yläreunaan nimen alapuolelle. Sijoitetaan ledit *D13-D16* kahteen riviin piirikortin keskelle ja asennetaan näppäimet *S4* ja *S5* niiden alapuolelle.

Kytetään "autorouting" -toiminto päälle. Johdotetaan komponentit manuaalisesti Top-puolelta. *Bottom*-puoli varataan kokonaisuudessaan maa-alueeksi. Tallennetaan työ nimellä "BUTTONS"

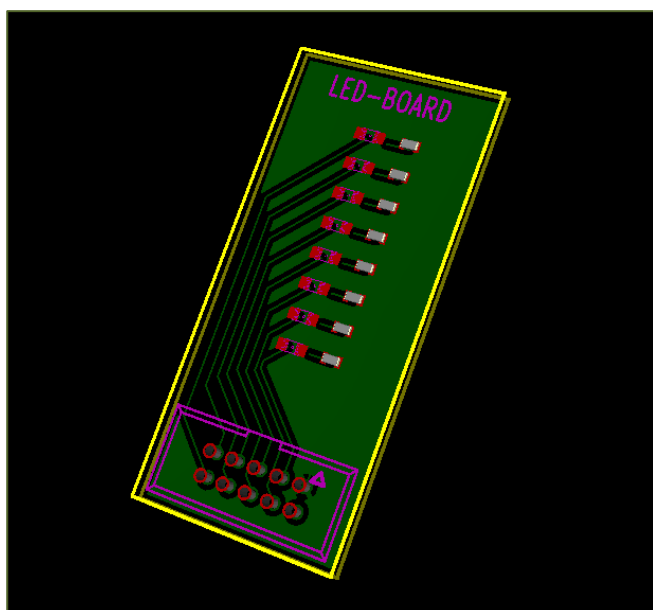


Kuvio 40. Buttons-kortin 3D-kuva

7.2.2 Led-piirikortin suunnittelu

Aloitetaan Led-kortin suunnittelu lataamalla "Lisakortit" -tiedosto. Poistetaan tiedostosta komponentit ja reunaviivat Led-korttia lukuun ottamatta. Kytetään "Footprint" -toiminto päälle ja asemoidaan ensimmäisenä liitin *J8* levyn alareunaan. Tämän jälkeen asemoidaan ledit rinnakkain suuruusjärjestyksessään ja kunkin ledin etuvastus asetetaan ledin yläpuolelle.

Kytetään "Autorouting" -toiminto päälle. Johtimien piirto aloitetaan myös ensimmäisestä ledistä lähtien ja johtimet piirretään kulkemaan vierekkäin symmetrisesti. Kortille ei ole nimetty maa-aluetta, joten koko alueen kuparointi sidotaan eniten liitännöitä sisältävään kytkentäverkkoon *N-000010*. Tallennetaan työ nimellä "LED".



Kuvio 41. Led-kortin 3D-kuva

7.2.3 Trimmer-piirikortin suunnittelu

Trimmer-piirikortin suunnittelu aloitetaan lataamalla "Lisakortit" -tiedoston. Poistetaan tiedostosta komponentit ja reunaviivat Trimmer-korttia lukuun ottamatta. Kytetään "Footprint" -toiminto päälle ja asemoidaan ensimmäisenä liitin *J21* piirilevyn alareunaan. Sijoitetaan säätövastukset sopivalle etäisyydelle toisistaan niin, että niitä voidaan sormilla säätää. Seuraavaksi sijoitetaan ledit säätövastusten alle ja kunkin ledin etuvastus lähelle sitä.

Kytetään "Autorouting" -toiminto päälle ja tehdään pintaliitoskomponenttien kytkennät Top-puolelle. Läpivientikomponenttien kytkennät tehdään Bottom-puolelle. Samalle puolelle tehdään myös kuparialueen täyttö kytkentäverkkoon *N-000010*. Tallennetaan työ nimellä "TRIMMER".

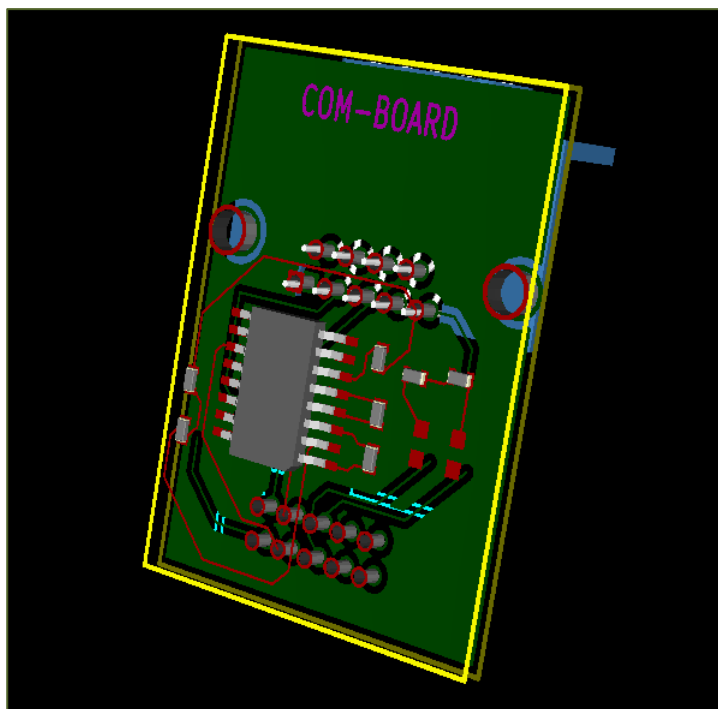


Kuvio 42. Trimmer-kortin 3D-kuva

7.2.4 Com-kortin piirilevyn suunnittelu

Com-kortin suunnittelu aloitetaan lataamalla "Lisakortit" -tiedoston. Poistetaan tiedostosta komponentit ja reunaviivat Com-korttia lukuun ottamatta. Kytetään "Footprint" -toiminto päälle. Asemoidaan ensimmäisenä liitin *J21* piirikortin alareunaan sekä liitin *RS232* piirikortin yläreunaan. Molemmat komponentit asennetaan levyn Top-puolelle. Asennetaan seuraavaksi mikropiiri *U4* liittimien väliin vasemmalle puolelle ja loput palakomponentit piirin oikealle puolelle.

Kytetään "Autorouting" -toiminto päälle ja piirretään johtimet manuaalisesti komponentti kerrallaan. Täyttökuparointi asetetaan liitosverkkoon *N-000029*. Tallennetaan työ nimellä "COM"

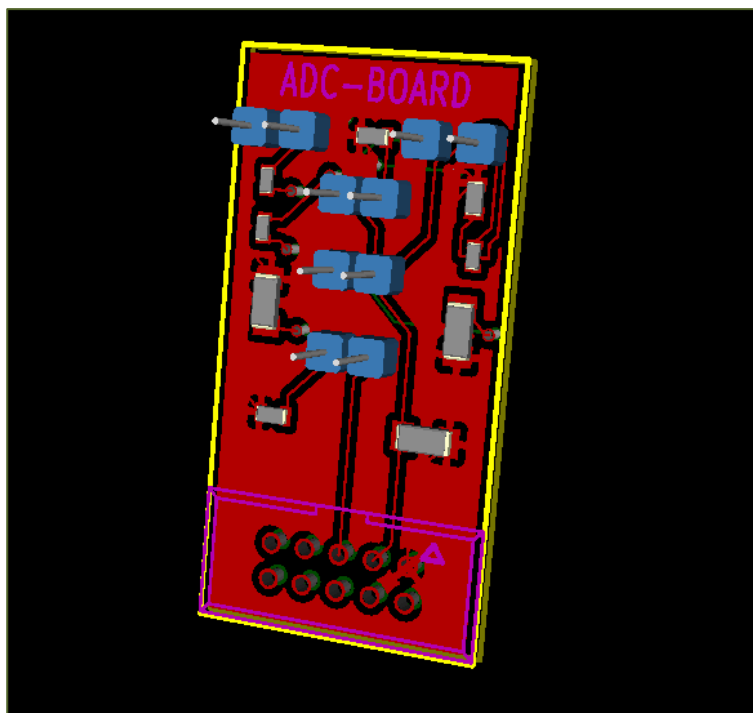


Kuvio 43. Com-kortin 3D-kuva

7.2.5 Adc-kortin piirilevyn suunnittelu

Adc-kortin suunnittelu aloitetaan lataamalla "Lisakortit" -tiedoston. Poistetaan tiedostosta komponentit ja reunaviivat Adc-korttia lukuun ottamatta. Kytetään "Footprint" -toiminto päälle ja asemoidaan liitin *J16* piirilevyn alareunaan. Asemoidaan testipiikit piirikortin molempiin laitoihin yläreunaan sekä kolmeen riviin piirilevyn keskelle. Lukitaan liitin ja testipiikit, jonka jälkeen autoasemoidaan loput osat.

Kytetään "Autorouting" -toiminto päälle. Tehdään kytkennät käyttämällä automaattireititystä, jolloin ohjelma johdottaa komponentin kerrallaan. Liitetään kytkentäverkko *N-000015* kuparitäyttöalueeseen. Tallennetaan työ nimellä "ADC".



Kuvio 44. Adc-kortin 3D-kuva

8. LOPPUSANAT

Opinnäytetyön alkuperäisessä suunnitelmassa asetettiin tavoitteeksi, että piirilevyistä tehdään koesarja, jolla päästään testaamaan niiden toimintaa sähköisesti. Tähän tavoitteeseen ei päästy, koska paluu työelämään opinnäytetyön alkuvaiheessa vaati minulta opiskelupaikkakunnalta pois muuton, eikä minulla näin ollen ollut mahdollisuutta viettää päiviä elektroniikkalaboratoriossa, mitä korttien testaaminen olisi vaatinut.

Itse työn tekemisessä haastavimmaksi osoittautui suunnitteluohjelman oppiminen ja käyttäminen. Työtä aloittaessa en tuntenut ohjelmaa ennestään ja olin yllättynyt, kuinka paljon se poikkesi tutummasta Pads:stä. Aloitin työn tekemisen tammikuussa 2011 emolevyn kytkentäkaaviosta ja samaiseen kytkentäkaavioon piti palata seuraavien 15 kuukauden aikana useasti, koska työn tekemisen ohella opin itse ohjelman käytöstä aina uutta, jota en ollut osannut ottaa huomioon työtä aloittaessa.

Halusin tuoda tähän työhön myös oman osion piirilevy- ja elektroniikka-teollisuuden tuotantoon, komponentteihin ja niiden asennuksiin liittyen, koska se on lähimpänä omaa henkilökohtaista osaamistani. Olen työskennellyt sairaalateknologian alihankkijana toimivassa yrityksessä yhteensä 12 vuotta. Tämä aika on sisältänyt työskentelyä tuotannossa (smd-operaattorina, käsinjuottajana, ohjelmoijana, testaajana ja mekaniikan kasaajana) ja viimeiset vuodet toimihenkilönä (laadunhallinta, tuotteiden tuotannollistaminen sekä tuotantoon siirtoprojektit). Tämä opinnäytetyökin on tehty pääsääntöisesti päivätyön ohella.

Opinnäytetyön liitteenä on cd-levy, jonka sisällä olevaan AVR KIT- kansioon on koottu tässä opinnäytteessä luodut tiedostot korttikohtaisiin kansioihin. Tiedostot avautuvat kansiossa olevan "AVR_KIT.pro" -projektin kautta. Tiedostojen avaamista varten koneelle tulee olla asennettuna KiCad-ohjelma.

LÄHDELUETTELO

Johnsson, B. 2004. Digitaalitekniikka: A ja B Oppikirja. Iisalmi: IS-PRINT Oy.

Kaustinen, H. 2005. IPC-A-610 FI: Elektroniikkavalmisteiden hyväksyminen.

Konttinen, A. 1984. Hallittu siirtyminen pintaliitostekniikkaan. Yleiselektroniikka Oy. Helsinki Painoseppä Oy.

Koskinen, J. 2004. Mikrotietokonetekniikka: Sulautetut järjestelmät. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Reitmaa, I – Gustafsson J. 2001. VARMA DIGITAALIELEKTRONIIKKA: EMC-, vianehkäisy- ja häiriötorjuntatekniikka. Helsinki: Otatiteto Oy.

Sköld, H. 2000. Elektroniikka 2000: Pintaliitokset oppikirja. Iisalmi: IS-PRINT Oy

Tikkanen, H. 2004. PADS, Piirilevy suunnitteluopas II: Powerlogic, PowerPCB ja Plaze routetr –ohjelmistoille. Jyväskylä: DS Design Systems Oy.

Tukes 2012. EMC - sähkömagneettinen yhteensopivuus. Osoitteessa www.tukes.fi/fi/Kuluttajille/Koti-ja-kodin-tekniikka/EMC---sahkomagneettinen-yhteensopivuus/. 21.3.2012.