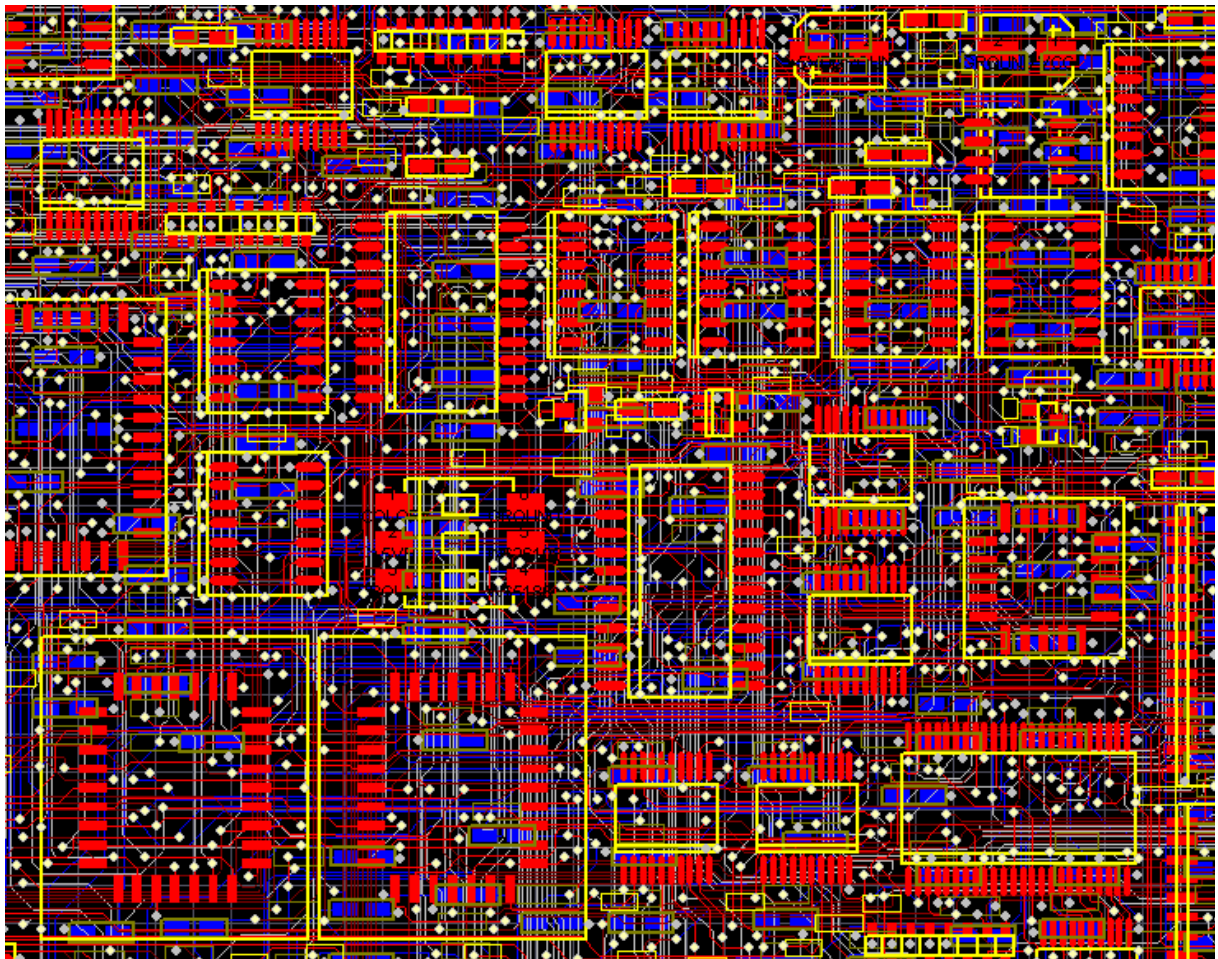


Osnove načrtovanje tiskanih vezij



Dr. Konrad Steblovnik

Kazalo

Kazalo.....	2
Uvod.....	4
Stari načini dela.....	4
Orodja za načrtovanje.....	4
Standardi.....	5
Električna shema.....	5
Colske in metrične mere.....	5
Delo v delovni mreži.....	6
Delo v pogledu od zgoraj.....	7
Bakrene povezave.....	7
Priključne blazinice.....	9
Skoznjiki.....	9
Poligoni.....	9
Prazen prostor kot razdalja med bakrenimi vodniki.....	10
Nameščanje komponent in načrtovanje vezja.....	11
Osnovno rutanje.....	13
Zaključevanje stikov.....	15
Enostranske tiskanine.....	15
Dvostranske tiskanine.....	16
Druge plasti.....	16
Beli tisk.....	16
Zaščitni lak ali maska za spajkanje.....	17
Plasti z mehanskimi podatki.....	17
Prepovedano področje.....	17
Uravnavanje plasti.....	17
Seznam povezav - netlista.....	17
Gnezdo povezav.....	18
Preverjanje pravil načrtovanja.....	18
Beleženje sprememb v obe smeri (naprej in nazaj).....	19
Večplastna vezja.....	19
Napajalne površine.....	20
Dobra ozemljitev.....	21
Dobro signalno blokiranje.....	21
Tehnike načrtovanja visokofrekvenčnih vezij.....	22
Nameščanje komponent na obe strani vezja.....	23
Samodejno rutanje.....	23
Samodejno nameščanje komponent.....	24
Priprava vezja za proizvodnjo.....	24
Panelizacija.....	24
Tehnološki robovi.....	25
Izhodiščne oznake.....	25
Termalni priključki.....	25
Spajkanje.....	25
Osnove proizvodnje tiskanih plošč.....	27
Obdelava površine tiskanine.....	27
Električno testiranje.....	28
Podpis.....	28

Posredovanje načrtov proizvajalcu.....	28
DODATEK A: Primer zahtev proizvajalca tiskanih vezij	30

Uvod

Narisali smo elektronsko vezje, morda smo ga celo preizkusili na prototipni plošči in sedaj je čas, da se lotimo načrtovanja tiskanega vezja oziroma tiskane plošče. Za nekatere razvijalce je proces načrtovanja tiskane plošče enostavna razširitev razvojnega procesa. Za veliko število drugih pa je lahko ta proces zelo stresno opravilo. Obstaja veliko izkušenih razvijalcev elektronskih vezij, ki pa vedo zelo malo o načrtovanju tiskanih plošč in le-to prepuščajo posebnim izvedencem za to področje. Veliko podjetij ima lastne posebne oddelke za načrtovanje tiskanih vezij. To ne preseneča, če upoštevamo, da je potrebnega veliko znanja in nadarjenosti za namestitev stotine komponent in tisočev električnih bakrenih povezav v zapleteno (včasih tudi kar malo umetniško) obliko, ki mora ustrezati vsem fizikalnim in električnim zahtevam aplikacije. Pravo načrtovanje tiskanih vezij je pogosto sestavni del celotnega načrtovanja in razvoja nekega novega izdelka. V veliko vrstah elektronskih vezij (digitalna z visoko hitrostjo, nizkonivojska analogna in visokofrekvenčna) lahko slaba izvedba tiskanega vezja povzroči njihovo napačno delovanje in zmanjša izvajalne lastnosti. Spomniti se moramo, da imajo povezave na vezju tudi lastno upornost, induktivnost in kapacitivnost.

S tem zapisom želimo razkriti nekaj skrivnosti načrtovanja tiskanih vezij. Podaja nekaj nasvetov in osnovnih pravil, kako načrtujemo in povežemo naše vezje na profesionalni ravni. Naloga učiti načrtovanje tiskanega vezja je zelo težka. Obstaja precej temeljnih pravil in dobre prakse, ki jim sledimo, a vseeno je ta proces zelo kreativen in individualen. Primerjamo ga lahko z učenjem slikanja slike. Vsakdo ima svoj način dela, pri čemer pa nekateri nimajo nobene kreativnosti.

V resnici pa veliko načrtovalcev vezja gleda na tiskano vezje kot na umetniško delo, ki ga lahko občudujemo v vsej lepoti in eleganci. Če vezje izgleda lepo, bo tudi delalo dobro.

Stari načini dela

V pred računalniškem času smo načrtovali vezja ročno s pomočjo lepilnih trakcev in krogecv na prozornem filmu. Veliko ur smo porabili sklonjeni nad fluorescentno lučjo z rezanjem, nameščanjem, razdiranjem in ročnim povezovanjem trakov. "Bishop Graphics", "Letraset", in celo "Dalo pens" so imena, ki nam vzbudijo prijetne ali neprijetne spomine. Ti dnevi so v celoti minuli in z računalniškim načrtovanjem tiskanih vezij smo v celoti nadomestili to metodo pri ljubiteljih in profesionalcih. Računalniško zasnovano načrtovanje tiskanih vezij omogoča veliko prilagodljivosti pri načrtovanju in urejanju tiskane plošče glede na tradicionalne tehnike. Kar nam je včasih vzelo ure časa, lahko danes končamo v nekaj sekundah.

Orodja za načrtovanje

Na trgu obstaja veliko računalniško podprtih orodij za načrtovanje tiskanih vezij, ki so freeware, shareware ali pa imajo omejen dostop do polne vednosti. Protel je defacto standard iz Avstralije. Nekdaj popularni P-CAD postaja zgodovina in se integrira v Protel. V akademskih sredinah je popularen Orcad. Cenovno ugoden pa je programski paket EAGLE, ki je na razpolago tudi v zmanjšani (Freeware) izdaji in ga lahko namestimo brez plačila licence. Profesionalci uporabljajo drage visokonivojske programske pakete, zasnovane na Windows kot 99SE in DXP. Ljubiteljski načrtovalci uporabljajo odlični freeware in na DOS zasnovan Protel AutoTrax program, ki je bil nekdanji visokonivojski programski paket in je iz Avstralije. Zmedo dela programski paket za Windows, ki se imenuje tudi AutoTrax EDA. Ta paket ni na noben način povezan s Protelom. V tem zapisu se ne osredotočamo na katerikoli

paket in te informacije lahko uporabimo na skoraj vsej Protelovi ali katerikoli drugi programski opremi.

Standardi

Obstajajo standardi za načrtovanja tiskanih vezij. Te standarde nadzoruje institut IPC (www.ipc.org). Obstaja IPC-standard za vsak vidik načrtovanja tiskanih vezij, proizvodnje, testiranja in za vse, kar lahko kadarkoli potrebujemo. Glavni dokument, ki pokriva načrtovanje tiskanih vezij, je IPC-2221, "Generični standard o načrtovanju tiskanih vezij". Ta standard nadgrajuje stari standard IPC-D-275 (tudi vojaški Std 275), ki se je uporabljal zadnjega pol stoletja.

Posamezne države imajo lastne standarde za različne vidike načrtovanja in proizvodnje, večina držav pa priznava IPC-standarde.

Običajno se v svetovnem merilu za načrtovanje tiskanih vezij uporablja angleški izraz PCB (Printed Circuit Board) design.

Električna shema

Preden pričenemo nameščati bakrene povezave na tiskano ploščo, z drugim imenom rutati, moramo imeti narejeno natančno električno shemo. Veliko ljudi prične z načrtovanjem tiskane plošče takoj in brez narisane električne sheme (imajo jo samo v glavi) ali brez natančne izbire priključkov za komponente ipd. To seveda ni inženirski pristop k načrtovanju tiskanih vezij in vse skupaj se bo končalo z zmešnjavo, trajalo pa bo najmanj dvakrat več časa, kot bi pa lahko.

Do tiskanega vezja moramo priti po naravni poti, to je iz električne sheme in s pravilnimi postopki. Če ja naša električna shema logično urejena, potem bo naše delo pri izdelavi plošče veliko lažje. Dobra praksa je, da izdelamo potek signalov tako, da so vhodi na levi strani in izhodi na desni strani. Električno pomembne dele vezja narišemo na način, kot jih želimo imeti narejene na tiskani plošči. Kadar narišemo blokirni kondenzator blizu komponente, želimo imeti zvezanega na plošči na enak način. Kratke opombe na električni shemi lahko pomagajo pri izvedbi bakrenih povezav. Primer takšne opombe: "ta priključek mora imeti posebno ozemljitveno zaščitno povezavo" pomaga načrtovalcu tiskanega vezja, na kaj mora paziti. Čeprav sami načrtujemo tiskano ploščo in rišemo vezje, nas lahko takšne opombe opozorijo, na kaj moramo paziti pri načrtovanju tiskane plošče, zelo pa so uporabne za osebo, ki izvaja kontrolni pregled vezja.

Električno shemo moramo risati enako, kot imamo v mislih izgled vezja na plošči.

Colske in metrične mere

Prva stvar v zvezi z načrtovanjem tiskanih vezij, ki jo moramo vedeti, je, katere merilne enote bomo uporabili. Napačna uporaba merilnih enot nas lahko pri načrtovanju zelo zmede.

V večini primerov uporabljamo colske enote, ker je večina elektronskih komponent vgrajena v ohišja, ki imajo priključke običajno razporejene v colskih enotah (cola, mil). Predvsem v Evropi pa smo navajeni uporabe metričnih enot (meter, mm) in običajno rišemo načrte za naprave, in v našem primeru, vse dimenzije tiskane plošče, v mm. Prav je torej, da se naučimo uporabljati obe vrsti enot, predvsem pa se moramo naučiti faktorjev pretvorbe med njimi.

Kadar govorimo na primer o tisočinkah, moramo vedeti, ali so to tisočinke cole (mil) ali tisočinke metra (mm) ali tisočinka mm (mikrometer, μm). Pri načrtovanju tiskanih vezij za

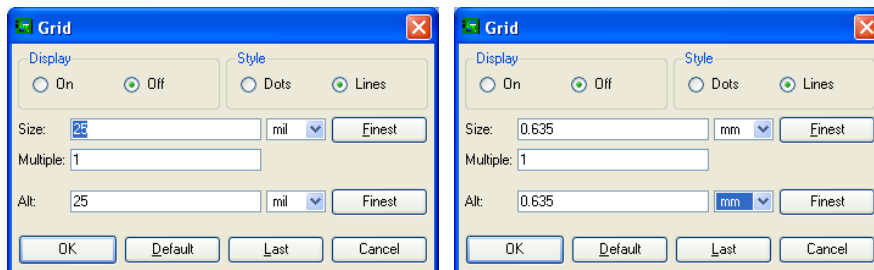
profionalnega načrtovalca tisočinka (1/1000) običajno pomeni kar tisočinko palca ali cole, torej 1 mil.

Velja splošno pravilo pri načrtovanju tiskanega vezja, da uporabimo colske enote (palce in mil) za nameščanje bakrenih povezav (rutanje), priključnih blazinic in razdalj med njimi, metrične enote pa uporabimo za vnašanje mehanskih podatkov o plošči, kot so dimenzije lukenj, velikost plošče ipd. Tudi proizvajalci tiskanih vezij, ki jim moramo posredovati našo dokumentacijo za proizvodnjo tiskane plošče, običajno uporabljajo ta pravila.

Zadeve okrog izbire in uporabe enot dodatno zaplete dejstvo, da proizvajalci določenih komponent, predvsem pasivnih v ohišjih za površinsko nameščanje (SMD) uporabljajo metrične enote. Tudi nekatere pasivne komponente, ki imajo žične priključke (na primer žični upori), se pri proizvajalcih elektronskih sklopov uporabljajo v metrični pripravi – krivljenje priključkov kot priprava za vstavljanje v ploščo. To ima za posledico, da moramo določene dele vezja nameščati (rutati) tudi v metrični delovni mreži.

Pri izdelavi električne sheme se pri izbiri enot običajno prilagodimo priporočilom programskega paketa, ki ga uporabljamo. Skupaj s programskim paketom dobimo veliko knjižnic z že izdelanimi elementi, ki so običajno narejene v colskih enotah. To je glavni razlog, da rišemo električne sheme v colskih enotah.

Običajno imajo orodja za načrtovanje vgrajene mehanizme za pretvorbo enot in tudi kratka navodila za uporabo teh enot. Zelo koristno je, da si zapomnimo osnovno razmerje med enotami: **100 mil (0.1 cole) = 2.54 mm**, in **200 thou (0.2 inch) = 5.08 mm**. V programskem paketu EAGLE lahko v urejevalniku za električno shemo in v urejevalniku za vezje uporabimo kar okno za nastavitve delovne mreže, ki ga vidimo na spodnji sliki. V polje *Size* vtipkamo vrednost v enotah, ki so določena s sosednjim poljem in potem v tem polju enote spremenimo in jih na ta način pretvorimo.



Delo v delovni mreži

Naslednje važno pravilo za načrtovanje tiskanih vezij, ki ga začetniki zelo pogosto ne upoštevajo dovolj dosledno, je nameščanje bakrenih povezav vezja v izbrano delovno mrežo. To se imenuje nameščanje v delovno mrežo ali angleško "snap to grid", ker se kazalec, komponente in bakrene povezave nameščajo samo v točke, ki jih določa trenutno izbrana delovna mreža. Običajna delovna mreža za nameščanje je 100 mil in velja za osnovno delovno mrežo. V njej nameščamo komponente. V delovno mrežo 50 mil nameščamo bakrene povezave med priključne blazinice žičnih komponent. Za bolj natančno nameščanje uporabimo 25 mil. Seveda večina plošč, ki jih načrtujemo, nima tako enostavne zgradbe, da bi lahko uporabili samo tri osnovne delovne mreže. Predvsem moramo za nameščanje komponent, ki imajo ohišja v metrskem sistemu, dodati še nekaj metrskih delovnih mrež. Običajno torej uporabljamo kombinacijo metrskih in colskih delovnih mrež. Velja naj splošno pravilo, da naj bo teh osnovnih delovnih mrež čim manj in da ne dodamo nove bolj natančne delovne mreže v naš nabor, če to ni res nujno potrebno.

Z dosledno uporabo čim manjšega števila delovnih mrež bomo ohranili našo ploščo primerno urejeno, predvsem pa nam to olajša urejanje/popravljanje plošče v prihodnosti. Lažje bomo premikali in urejali komponente in bakrene povezave, predvsem potem, ko raste zapletenost naše plošče. Kadar delovne mreže ne uporabljamo dosledno, se pojavijo v vezju majhne in večje estetske pomanjkljivosti: bakrene povezave ne izhajajo neposredno iz sredine priključnih blazinic, bakrene povezave niso lepo urejene, povezave so nazobčane, ipd.

Dobra praksa pri načrtovanju vezja je takšna, da pričnemo z grobo delovno mrežo 50 mil, postopoma uporabljamo natančnejšo delovno mrežo in načrtovanje z nameščanjem elementov vanjo. Za natančnejše nameščanje elementov nadaljujemo s 25 in 10 mil, kadar je to potrebno. Na ta način bomo lahko izdelali 99 % plošč. Natančnejša delovna mreža naj bo delilnik standardne osnovne mreže: 50, 25, 20, 10, 5, itd. Kasneje nam bo žal, če bomo uporabili katerokoli drugo delovno mrežo.

Dober programski paket za načrtovanje ima bližnjice (tipke) ali programabilne makroje za preklapljanje med različnimi delovnimi mrežami, ker moramo to pogosto storiti.

Delo v pogledu od zgoraj

Tiskano vezje vedno načrtujemo s pogledom od zgoraj in skozi različne plasti, kot da bi bile prozorne. Tako delujejo tudi vsi programski paketi za načrtovanje vezij. Samo tehnologi proizvajalcev elektronskih sklopov uporabljajo pogled od spodaj. Takšen način načrtovanja pomeni, da se bomo morali navaditi brati tekst na spodnji strani v zrcalni obliki.

Bakrene povezave

Ni priporočenega splošnega standarda za izbiro širine bakrenih povezav. Izbrana širina je odvisna (glede na pomembnost) od električnih zahtev našega vezja, prostora in razdalj za rutanje, ki jih imamo na razpolago, in naše osebne prednostne izbire. Vsako vezje ima običajno različno množico električnih zahtev, ki se razlikujejo med posameznimi bakrenimi povezavami na isti plošči. Na vseh nekritičnih vezjih uporabimo običajno mešanico različnih debelin bakrenih povezav. V splošnem pa velja, da tem širša je povezava, boljši rezultat ali odziv vezja dobimo. Debelejše bakrene povezave imajo nižjo enosmerno upornost in nižjo induktivnost, njihova proizvodnja (jedkanje) je enostavnejša in cenejša; na enostavnejši način jih pregledujemo in popravljamo.

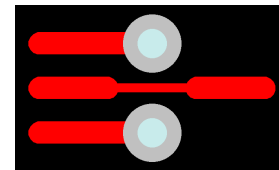
Dodatno moramo paziti, v kakšni tehnologiji in pri katerem proizvajalcu bomo vezje izdelali. Od tehnologije proizvajalca tiskanih plošč je običajno odvisna najmanjša širina bakrenih povezav, ki jih še lahko uporabimo. Proizvajalec tiskanih plošč lahko izdela tipično ponudbo, ki velja za "10/8/povezave/razdalje". To pomeni, da so lahko povezave široke ne manj kot 10 mil, razdalja med njimi (oziroma med povezavami in drugimi bakrenimi elementi, na primer priključnimi blazinicami) je lahko najmanj 8 mils.

V realnem svetu so ponudbe za tipična vezja običajno izdelane za zahteve 10/10 in 8/8 mils za osnovna vezja. V splošnem pa velja, da lahko plošče z zahtevami 12/12 mils izdela praktično vsak proizvajalec. IPC-standard priporoča, da je spodnja meja 4/4 (mils). Ko dosežemo mejo 6/6 mils, lahko pridemo v resne težave pri izdelavi plošč in se moramo nujno posvetovati s proizvajalcem. Pri majhnih širinah in razdaljah bakra mora seveda proizvajalec posvetiti veliko pozornosti nastavitvam in jedkanju plošče. Vse to nam potem zaračuna in nujno moramo paziti, da ne gremo z mejami nižje, kot je potrebno. Za "domačo" izdelavo tiskanih plošč s pomočjo filmov na prozornih folijah in s tiskanjem na laserski tiskalnik in s tiskanimi ploščami, ki imajo nanos foto odporne laka, lahko dokaj enostavno dosežemo 10/10 in celo 8/8 zahteve.

Samo zaradi tega, ker lahko nek proizvajalec doseže določene širine in razdalje bakrenih povezav, še ni potrebno, da pomaknemo meje oziroma zahteve naše plošče do spodnjih meja. Uporabimo čim večje razmerje med širino in razdaljami bakrenih povezav razen, če parametri načrtovanja ne zahtevajo česa drugega.

Za začetek poizkušajmo izdelati naše vezje s širino signalnih bakrenih povezav 25 mil, širino za napajalne in ozemljitvene povezave 50 mils in 10-15 mils med priključki integriranih vezij in drugimi priključnimi blazinicami. Nekateri načrtovalci vezij imajo rajši izgled z ožjimi/tanjšimi bakrenimi povezavami kot na primer 10 do 15 mils, drugi pa močnejše/debelejše povezave. Dobra praksa pri načrtovanju vezja je nameščanje čim širših povezav, ki jih potem stanjšamo samo na mestih, kjer je to potrebno, da dosežemo zahtevane razdalje.

Spremembo širine bakrenih povezav iz večje na manjšo in zopet nazaj imenujemo zoževanje. Takšno zoževanje bakrenih povezav običajno uporabimo, kadar vodimo povezave med priključki integriranih vezij ali med priključnimi blazinami drugih komponent. To omogoči, da obdržimo nizko impedančne povezave, pa jih še vedno vodimo na zoženih mestih, kot kaže slika.



V praksi določa širino povezave tok, ki teče skozi in najvišja temperatura, ki jo še dovolimo na teh mestih. Vsaka povezava ima določeno upornost, ki lahko povzroča izgube kot običajni upor. Širša je povezava, manjša je upornost.

Debelino bakra na tiskanem vezju lahko določamo nominalno v angleških unčah na kvadratni čevelj. Najbolj običajna debelina je 1 oz (1 unča). Naročimo pa lahko še debeline 0.5 oz, 2 oz ali 4 oz. Debelejše plasti bakra so seveda primernejše za vezja, ki so namenjena močnostni elektroniki z večjimi tokovnimi obremenitvami. V Evropi podajamo debelino v mikronih (μm). V DODATKU A podajamo primer, kjer slovenski proizvajalec podaja štiri možne debeline bakra: 18, 15, 70 in 105 μm (mic) za svoja tiskana vezja.

Izračunavanje širine povezav glede na največjo možno temperaturo je dokaj zamotano. Lahko je tudi precej nenatančno.

Program za izračunavanje širine povezav najdemo na internetnem naslovu www.ultracad.com/calc.html. Izračunani rezultati so zasnovani na IPC-standardu.

Velja približno pravilo, da je povečanje temperature za 10°C na povezavi, dovolj varna meja za naše vezje. Spodaj podajamo priročno tabelo za določanje širine povezav v primerjavi s tokom za povečanje temperature za 1°C. Spodnja tabela podaja tudi upornost v m Ω na palec. Seveda je bolje, da nameščamo čim širše povezave ne glede na tabelo.

Referenčna tabela širine povezav (za 10°C porast temp.). Širina v mil			
Tok [A]	Širina za 1 oz	Širina za 2 oz	m Ω /palec
1	10	5	52
2	30	15	17.2
3	50	25	10.3
4	80	40	6.4
5	110	55	4.7
6	150	75	3.4
7	180	90	2.9
8	220	110	2.3
9	260	130	2.0
10	300	150	1.7

Priključne blazinice

Velikost, oblika in dimenzije priključnih blazinic niso odvisne med drugim samo od komponente, za katero so narejene, ampak tudi od proizvodnega procesa, ki ga bomo uporabili za izdelavo tiskane plošče. Obstaja cela množica standardov in teorij v zvezi z velikostjo priključnih blazinic in samim vezjem. Predstavili jih bomo kasneje. Za začetek naj bo dovolj, da povemo, da imajo programski paketi za načrtovanje vključenih vrsto knjižnic z osnovnimi komponentami za lažji začetek našega dela. S časom bomo zgradili lastne knjižnice komponent za lastne aplikacije.

Obstaja pomemben parameter, ki ga poznamo kot razmerje med priključno blazinico in luknjo. Vsak proizvajalec ima lastno minimalno vrednost za ta parameter. Velja enostavno pravilo, da naj bo priključna blazinica za faktor 1.8x večja kot premer luknje ali najmanj za 0.5 mm. Ta parameter je podan z namenom, da se lahko izravnajo tolerance vrtnanja in izdelava vrhnje in spodnje plasti. To razmerje je bolj pomembno, čim manjše so priključne blazinice in pripadajoče luknje, še posebej so pomembne za skoznjike.

Obstaja nekaj osnovnih pravil za priključne blazinice generičnih komponent. Za priključne blazinice žičnih komponent, kot so upori, kondenzatorji in diode, velja, da naj bo blazinica okrogla s premerom približno 70 mil. Za dvovrstna podnožja (DIL – Dual In Line) za komponente, kot so na primer integrirana vezja, so primerne ovalne priključne blazinice (višina 60 mil in širina 90 – 100 mil). Priključek s številko 1 na integriranem vezju naj ima vedno drugačno obliko, na primer pravokotno, a isto velikost kot ostale priključne blazinice.

Večina komponent za površinsko nameščanje naj ima pravokotne priključne blazinice, SO-tip podnožja pa naj ima ovalne priključke. Priključek 1 naj ima zopet pravokotno obliko.

Tudi za druga podnožja, za katera je pomembno številčno označevanje priključkov, naj velja pravilo pravokotne oblike za številko priključka 1.

Osmerokotnim priključnim blazinicam se običajno izogibamo.

Običajno uporabljamo okrogle ali ovalne priključne blazinice, razen če ne potrebujemo še pravokotnih.

Skoznjiki

Skoznjiki povezujejo bakrene povezave skozi luknjo z ene strani plošče na drugo stran. Običajno so na vseh vrstah tiskanih vezij skoznjiki metalizirani in omogočajo električno povezavo na drugo stran vezja oziroma na drugo plast ali plasti.

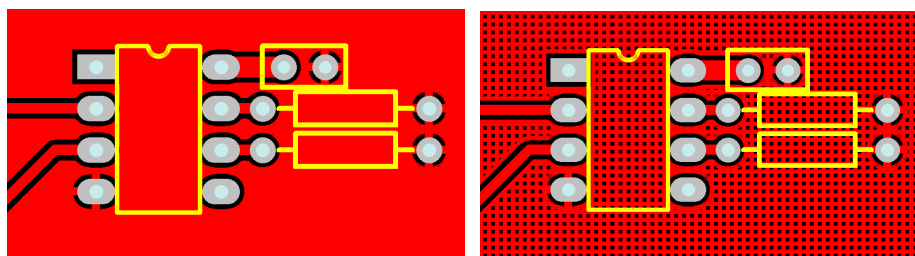
Kakšna je razlika med skoznjikom in priključno blazinico? Oba elementa sta metalizirani luknji, vendar je med njima pomembna razlika, zato ju moramo obravnavati ločeno. Priključna blazinica je del podnožja komponente, skoznjik pa samo vodi bakreno povezavo z ene strani tiskanine na drugo stran. O njima bomo kasneje še govorili. Nikakor pa namesto skoznjikov ne smemo uporabiti priključnih blazinic in obratno.

Luknje in skoznjiki so manjši od priključnih blazinic za komponente. Tipična velikost je 0.5-0.7 mm.

Poligoni

Poligone lahko uporabljamo v večini programskih paketov za načrtovanje tiskanih vezij. Poligon samodejno zapolni določeno polje z bakrom, ki "objema" druge priključne blazinice in povezave. Običajno jih uporabljamo za nameščanje ozemljitvenih ploskev. Nameščamo jih šele potem, ko smo namestili vse druge bakrene povezave.

Lahko so homogena, v celoti zapolnjena z bakrom, ali pa narejena z mrežasto polnitvijo.



Primer homogene (levo) in mrežaste (desno) polnitve poligona.

Prazen prostor kot razdalja med bakrenimi vodniki

Električno prazen prostor, to so razdalje med bakrenimi površinami, predstavlja pomembno zahtevo pri načrtovanju vsakega tiskanega vezja. Premajhne razdalje med bakrenimi površinami lahko povzročajo kratke stike (v obliki bakrenih "las") v fazi jedkanja proizvodnega procesa. To so lahko zelo neprijetne napake, ki pridejo do izraza v fazi sestavljanja in testiranja plošče. Še enkrat opozarjamo, da ne smemo iti pod spodnjo mejo zmožnosti proizvajalca tiskanih vezij.

Velja naj, da je 15 mil praznega prostora osnovna meja za žične komponente, 10 mil do 8 mil pa spodnja meja za plošče z večjo gostoto in elementi za površinsko montažo. Če gremo pod te meje, se moramo nujno najprej posvetovati s proizvajalcem tiskanega vezja.

Za vezja, ki delujejo na omrežnih napetostih (240V in 110V), moramo preveriti varnostne standarde, ki veljajo za geografsko področje, za katero razvijamo našo tiskanino. Veljata dve osnovni pravili: običajna razdalja med faznim in ničelnim priključkom na vezju je 3.2 mm, in sicer na visokonapetostnem delu vezja; najmanjša razdalja med visokonapetostnimi deli in nizkonapetostnimi deli vezja, s katerimi lahko pride v neposredni stik uporabnik naprave, kamor je naš elektronski modul vgrajen, pa je 8 mm. Velja naj običajna in dobra načrtovalska praksa, da se držimo večjih razdalj, kot je predpisano, predvsem pa moramo paziti na tolerance in upoštevati, da lahko zaradi tolerance 8 mm pomeni tudi 7.99 mm, kar pa ne ustreza več standardnim predpisom in za naše vezje ne bo mogoče pridobiti pozitivnega atesta.

Za nizke napetosti, ki niso galvansko povezane na napajalno omrežje, ima IPC-standard množico tabel, ki določajo razdalje med vodniki. Spodaj podajamo poenostavljeno tabelo razdalj odvisnih od napetosti med bakrenimi povezavami. Te razdalje se razlikujejo glede na to, ali so bakrene povezave na notranjih ali zunanjih površinah tiskanine. Odvisne so tudi od nadmorske višine, na kateri uporabljamo elektronski modul s tiskanino, zaradi redčenja atmosfere na večjih nadmorskih višinah. Površinski nanos posebnega laka izboljša obnašanje plošče glede na razdalje in se pogosto uporablja v vojaški industriji in na geografskih področjih z večjo vlago v zraku.

Razdalje med bakrenimi vodniki			
Napetost (DC ali vršna AC)	Notranji	Zunanji (<3050m)	Zunanji (>3050m)
0-15V	0.05mm	0.1mm	0.1mm
16-30V	0.05mm	0.1mm	0.1mm
31-50V	0.1mm	0.6mm	0.6mm
51-100V	0.1mm	0.6mm	1.5mm
101-150V	0.2mm	0.6mm	3.2mm
151-170V	0.2mm	1.25mm	3.2mm
171-250V	0.2mm	1.25mm	6.4mm
251-300V	0.2mm	1.25mm	12.5mm

301-500V	0.25mm	2.5mm	12.5mm
----------	--------	-------	--------

Nameščanje komponent in načrtovanje vezja

Stari izrek pravi, da predstavlja nameščanje komponent 90% dela in rutanje 10% dela pri načrtovanju tiskanine. Z dobro razporejenimi komponentami bo naše delo pri rutanju vezja lažje. Električne lastnosti vezja so boljše. Slaba razporeditev komponent lahko spremeni rutanje v nočno moro in vodi do zelo slabih električnih lastnosti tiskane plošče. Plošča lahko postane celo neprimerna za proizvodnjo. Nameščanje komponent torej zahteva zelo dobro pripravo. Moramo pa opozoriti, da tiskanino vedno načrtujemo za vgradnjo v neko napravo in s tem v neko ohišje. Običajno so zunanje mere in tudi razpored nekaterih komponent, predvsem priključnih konektorjev, prilagojeni temu ohišju. To pomeni, da je razporeditev ostalih elementov prilagojena tem zahtevam in lahko pomeni kar dodatno težavo ali omejitve, ki jih moramo s primernim načrtovanjem preseči.

Vsak načrtovalec tiskanine ima lastno metodo za nameščanje komponent in rutanje vezja. Če damo isto vezje (ni važno, kako enostavno je) v izdelavo 100 različnim izkušenim načrtovalcem, bomo dobili 100 različnih tiskanin. Ni absolutnih pravil za nameščanje komponent in načrtovanje tiskanine. Obstaja pa nekaj osnovnih pravil, ki nam lahko olajšajo rutanje, izboljšajo električne lastnosti in poenostavijo obsežno in zamotano vezje.

Na tem mestu lahko povzamemo osnovne korake za rutanje celotne tiskanine:

- Izberemo postavitev za nameščanje elementov v delovno mrežo ("snap grid"), vidno delovno mrežo in osnovno velikost bakrenih povezav in priključnih blazinic.
- Namestimo vse komponente v okvir tiskanine.
- Namestimo in pritrdimo (fiksiramo) komponente, ki imajo v naprej določene svoje položaje v tiskanini.
- Razporedimo in namestimo komponente v funkcionalne skupine, kjer je to mogoče.
- Običajno najprej rutamo (ročno) napajalne, ozemljitvene in kritične povezave.
- Vsako funkcionalno skupino, ki smo jo lahko določili, namestimo in rutamo posebej zunaj osnovne tiskanine. Seveda moramo upoštevati, koliko prostora imamo na razpolago.
- Premaknemo končane funkcionalne skupine na svoja mesta v osnovni tiskanini.
- Rutamo preostale signale med skupinami.
- Uredimo in "očistimo" tiskanino.
- Preverimo pravila načrtovanja (Design Rule Check).
- Tiskanino damo v pregled tretji osebi.

Zgornja opravila vsekakor niso vsa in nujna v procesu načrtovanja tiskanine in se lahko zelo spremenijo, glede na trenutne zahteve. Uporabimo jih lahko le kot dobra splošna navodila za izdelavo profesionalne tiskanine.

Poglejmo si zgornje postopke nekoliko natančneje.

Preverili smo že trenutne nastavitve za delovno mrežo in velikost bakrenih povezav in priključnih blazinic in to je obvezno naše prvo opravilo preden pričnemo z delom. Brez izjeme!

Večina ljudi takoj prične z nameščanjem vseh komponent naenkrat, po njihovem mnenju, na najbolj optimalna mesta na tiskanini. To storimo pri manjših vezjih, nimamo pa večjega upanja na uspeh pri bolj zamotanih vezjih s stotinami komponent, ki so razporejene v večje število funkcionalnih skupin. Zakaj? Zaradi tega, ker lahko hitro porabimo prostor za rutanje bakrenih povezav. Če namestimo vse komponente na stalne položaje in poiščemo rutati celotno vezje, hitro zaidemo v brezizhoden položaj. Če pa po drugi strani razporedimo

komponente preveč narazen, lahko pridemo do prevelike tiskanine in do ne-optimalne porabe prostora. Seveda moramo še enkrat poudariti, da smo običajno v naprej omejeni s prostorom, ki ga določa velikost naprave, za katero načrtujemo naše vezje. Večinoma tudi velja, da imamo prej premalo kot preveč prostora za komponente.

Zaščitni znak neizkušenega načrtovalca tiskanine so preveč razmaknjene komponente, med njimi tisoče bakrenih povezav in skoznjikov. Vezje bo morda celo delovalo, vendar bo nelepo in neučinkovito, ter večje in dražje, kot je potrebno.

Najboljši način za pričetek načrtovanja je, da najprej naložimo vse komponente na zaslon. Programski paketi za načrtovanje tiskanin imajo običajno poseben postopek prehoda iz izdelane električne sheme v načrtovanje tiskanine, ki samodejno prenese (uvozi) vse komponente skupaj z električnimi povezavami v delovno področje urejevalnika tiskanine.

O tem bomo kasneje še govorili.

Z vsemi komponentami na ekranu bomo lahko relativno enostavno ugotovili ali lahko komponente razporedimo znotraj okvirja tiskanine. Če ugotovimo, da bo malo prostora, potem jih moramo namestiti zelo pazljivo in vezje rutati čimbolj učinkovito. Če pa ugotovimo, da bo prostora dovolj, se lahko lotimo vezja nekoliko bolj liberalno. Seveda pa moramo v primeru, da nimamo nobene možnosti naložiti komponente v okvir tiskanine, njen okvir nanovo narisati.

Sedaj analiziramo električno shemo, določimo dele vezja, ki ga lahko razdelimo na enotne sklope. Primer enotnega sklopa je na primer filtrsko vezje, ki ima kup komponent in en vhod ter en izhod. To je lep primer sklopa, kjer lahko elemente zberemo na enem mestu, jih uredimo in pričnemo rutati. Zaenkrat se ne vzmernirjamo, kje bo ta sklop dejansko nameščen.

Tudi vse električno občutljive dele vezja razdelimo v večje skupine. Primer: vezje, ki ga moramo razdeliti v skupine, je mešano analogno in digitalno vezje. Digitalnega in analognega vezja ne smemo mešati, ampak ju moramo fizično in električno ločiti. Drugi primer sta visokofrekvenčno in visoko tokovno vezje, ki ju tudi ne smemo mešati med sabo. Več bomo o tem govorili tudi kasneje.

Velja splošno pravilo, da morajo biti komponente lepo urejene. Integrirana vezja naj bodo enako usmerjena, upori v urejenih stolpcih, polarizirani kondenzatorji obrnjeni v isto smer in konektorji na robu vezja. Vendar tega ne storimo na račun slabo rutanega vezja in prevelike tiskanine. Električni parametri morajo vedno imeti prednost pred lepo urejenimi komponentami. Seveda pa je simetrično urejena tiskanina estetsko prijetna na pogled.

Če pametno razporedimo komponente, je 90% dela narejenega. Preostalih 10% je sedaj samo še rutina. No, seveda ni tako enostavno, vendar pa smo večino dela s tem opravili.

Potem, ko smo zadovoljni z namestitvijo komponent, lahko pričnemo rutati vse različne sestavne bloke. Ko to končamo, je potem običajno dokaj enostavno razporediti te bloke po tiskanini in jih povezati.

Preverjanje pravil načrtovanja (DRC – Design Rule Check) bomo obdelali kasneje. Je pa to bistveni korak, ki zagotavlja, da bo naše vezje delovalo pravilno. DRC najprej preveri pravilno nameščene bakrene povezave, ter njihovo pravilno širino in razdalje med njimi.

Zahteva o pregledu vezja s strani tretje osebe zgleda mogoče nekoliko birokratski korak, vendar pa je to zelo koristen in potreben korak.

Ne glede na to, kako izkušeni načrtovalci tiskanine smo, vedno se najde nekaj, kar smo spregledali. Dodatni par oči in druga miselnost pomaga najti probleme, ki jih sami ne vidimo.

V primeru, da nimamo DRC-sistema in nikogar, ki bi za nami pregledal vezja, moramo to storiti sami.

Osnovno rutanje

Sedaj je čas, da povzamemo nekaj osnovnih pravil za rutanje oziroma nameščanje bakrenih povezav.

Rutanje je nameščanje bakrenih povezav na tiskanino med priključki komponent. Električno povezavo med dvema ali več priključnimi blazinicami imenujemo električno signalno mrežo.

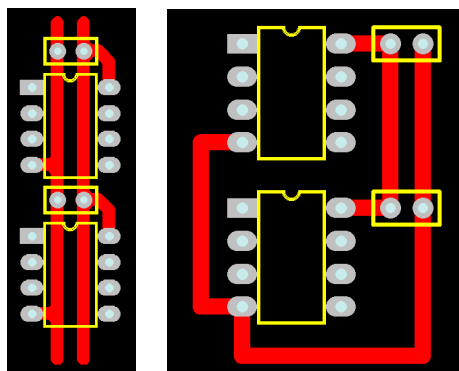
- Električne signalne mreže ohranimo na tiskanini čim krajše. Čim daljša je bakrena povezava, tem večja je njena upornost, kapacitivnost in induktivnost. To so tako imenovane neželene parazitne impedance.
- Bakrene povezave naj imajo le 45° kote. Izogibajmo se pravim kotom in pod nobenim pogojem ne uporabljamo kotov večjih kot 90°. To je pomembno, tiskanini daje profesionalni izgled ter lepo obliko. Programski paketi za načrtovanje imajo običajno vgrajene mehanizme za rutanje pod kotom 45°. Uporabimo jih. Nikoli jih ni potrebno izklopiti. Pravi ali ostri koti na bakrenih povezavah nimajo posledic na električnih lastnostih. Razlog, da uporabimo 45° rutanje leži predvsem v tem, da vezje izgleda lepše, poleg tega pa se lahko tiskanina tudi bolje izdela.
- Pozabimo na okrogle vogale. Težje jih bomo nameščali in porabili preveč časa. Nimajo pa nobene posebne prednosti.
- Bakrene povezave nameščamo po celi plošči, namesto neposrednega povezovanja od točke do točke. Razloga za to sta vsaj dva. Prvi razlog je v lepšem izgledu tiskanine. Drugi razlog je v tem, da je "zvijanje" povezav prostorsko bolj učinkovito, predvsem kadar želimo v eno plast namestiti čim več povezav.
- Če ima programski paket za načrtovanje vgrajeno možnost vklopa funkcije "poveži v najbližjo točko" ("snap to nearest" ali "snap to center"), ju vklopimo. Na ta način nam bo urejevalnik sam poiskal sredino priključne blazinice in sam zaključil bakreno povezavo namesto nas. Če nismo omogočili te funkcije, moramo med rutanjem zmanjševati delovno mrežo tako dolgo, da najdemo najbolj ustrezni in optimalno pot za povezavo.
- Bakrene povezave vedno povežemo na sredino priključne blazinice in ne samo na njen rob, ker to izgleda neprofesionalno in pomeni nepravilno zaključeno povezavo oziroma nepovezavo bakreno povezavo. Pravilna uporaba funkcije "poveži v najbližjo točko" preprečuje možne napake.
- Signalno mrežo namestimo med dvema točkama, ki se med sabo "vidita", z enojno in ne z večkratno povezavo, tako da rutamo konec s koncem. To sicer ne vpliva na končni izgled plošče, lahko pa nam povzroči probleme pri kasnejšem urejevanju tiskanine. Pogosto moramo podaljšati bakreno povezavo, in če jo sestavlja več segmentov, je bolje, da jo brišemo in ponovno namestimo z enojnim segmentom.
- Prepričajmo se, da so bakrene povezave rutane skozi sredino priključnih blazinic in ne ob njeni strani. Vedno uporabimo pravilno delovno mrežo in vedno bomo namestili bakrene povezave pravilno. Na ta način bo tiskanina lepša in bomo pridobili več praznega prostora.
- Vedno vodimo le eno bakreno povezavo med dve priključni blazinici, ki sta na razdalji 100 mil, razen kadar je nujno, da jih namestimo več (običajno pa dve). S tremi

bakrenimi povezavami med priključnima blazinicama na razdalji 100 mil lahko zaidemo v resne težave s tolerancami.

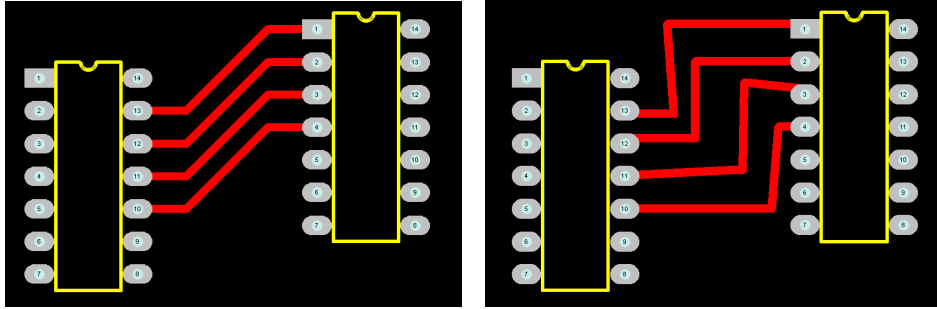
- Za večje tokove uporabimo več skoznjkov, kadar rutamo na drugo stran vezja. To bo zmanjšalo impedanco povezave in izboljšalo zanesljivost. To je temeljno pravilo, kadar želimo zmanjšati impedanco povezave ali napajalne površine.
- Ne vlecimo povezav pod drugimi koti – uporabimo samo kot 45°.
- Med priključnima blazinicama na razdalji 100 mil zmanjšamo širino povezave. Če vodimo bakreno povezavo širine 10 mil med dvema priključnima blazinicama s premerom 60 mil dobimo udoben prazen prostor velikosti 15 mil.
- Če menimo, da bodo napajalne in ozemljitvene povezave kritične, jih rutamo najprej. Te povezave naj bodo tudi čim širše.
- Napajalno in ozemljitveno povezavo rutamo čim bližje skupaj, če je to mogoče, in ju ne rutamo po nasprotnih straneh tiskanine. To zmanjša zančno induktivnost napajalnega sistema in omogoča učinkovito blokiranje s kondenzatorji.
- Vse elemente na tiskanini obdržimo simetrične. Simetrija pri nameščanju bakrenih povezav in nameščanju komponent daje profesionalni estetski vtis o plošči.
- Ne smemo puščati nepovezanih bakrenih otokov. Ozemljimo jih ali brišemo.

Kadar rutamo ne-metalizirano dvostransko tiskanino, moramo vedeti nekaj dodatnih stvari, na katere moramo paziti. V ne-metalizirane luknje moramo vstaviti povezavo in jih spajkati na obeh straneh tiskanine.

- Pod komponentami ne nameščamo skoznjkov. Ko je komponenta nameščena, ne bomo več spajkali skoznjika.
- Poizkusimo uporabiti priključke žičnih komponent za povezovanje spodnje strani z zgornjo in seveda obratno. S tem zmanjšamo število skoznjkov. Večje število spajkalnih mest na tiskanini zmanjšuje njeno zanesljivost. Poleg tega porabimo več časa za njeno sestavljanje.
- Dvoplastne tiskanine brez metaliziranih lukenj uporabljamo zelo redko.




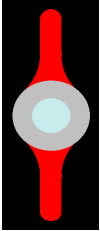
Primer dobrega rutanja (levo) in slabega rutanja (desno) napajalnih povezav.



Primer dobrega rutanja (levo) in slabega rutanja (desno).

Zaključevanje vezja

Ko končamo rutanje, tiskarina še ni čisto gotova. Zadnjikrat še preverimo naslednje.

- Kadar imamo tanjše bakrene povezave (<25mil), je dobro v "T" spojih odpraviti ostre robove. Na ta način učvrstimo bakreno povezavo in preprečimo potencialne probleme pri jedkanju v proizvodnji. Poleg tega lepše izgleda. 
- Preverimo, ali imamo vse montažne luknje na tiskadini. Montažne luknje naj bodo dovolj oddaljene od bakrenih povezav. Predvideti moramo prostor za podložke in vijake.
- Zmanjšamo število različnih velikosti lukenj. Posebna dodatna luknja stane, ker nam proizvajalec zaračuna število različnih lukenj.
- Še enkrat preverimo velikosti lukenj.
- Preverimo dimenzije skoznjnikov.
- Preverimo ustreznost fizičnih razdalj med komponentami.
- Preoblikujemo priključke bakrenih povezav na priključne blazinice v obliko solze. Preverimo, ali ima urejevalnik, ki ga uporabljamo, funkcijo samodejnega dodajanja oblike solze na bakrene povezave in jo seveda uporabimo. 

Enostranske tiskanine

Enostranske tiskanine so veliko cenejše in jih uporabimo, če je le mogoče. Večina današnjih televizorjev, DVD-jev in drugih naprav za široko potrošnjo uporablja enostranska vezja. Uporabljajo se zaradi nižje cene.

Pri načrtovanju enostranskih tiskatin uporabimo nekaj posebnih tehnik, ki niso potrebne pri dvo- in večstranskih tiskatinah. Vsekakor so zahtevnejše za načrtovanje kot dvostranske plošče. Zahtevnost načrtovanja enostranske tiskanine se meri s številom uporabljenih žičnih mostičev. Posebnega občudovanja so deležne tiskanine z majhnim številom žičnih povezav ali celo brez njih.

Običajno moramo tehtati med velikostjo tiskanine in številom žičnih povezav. Skoraj vsaka enostranska tiskarina potrebuje žične mostiče. Pomembno je, da zmanjšamo njihovo število.

Nameščanje komponent je na enostranskih ploščah še bolj kritično. Zaradi tega nameščenih komponent ne uredimo na idealni način glede na lepo razporeditev, ampak tako, da dosežemo čim krajše in čim bolj učinkovite bakrene povezave med njimi. Nameščanje komponent in rutanje lahko primerjamo s šahiranjem – vedno moramo predvideti nekaj potez naprej. Poleg

tega moramo pri rutanju ene bakrene povezave vedno predvideti, kako bomo rutali druge povezave v istem območju tiskanine.

Veliko število načrtovalcev enostransko vezje ruta na enak način kot dvostransko in oblikuje povezave v vrhni plasti v obliki kratkih in ravnih povezav, ki jih kasneje zamenjajo z žičnimi povezavami. To predstavlja neučinkoviti način rutanja in ga ne priporočamo. Pri nameščanju se moramo obnašati zmerno in moramo znati vezje tudi razdreti in najti boljši način za povezavo.

Ko si bomo nabrali dovolj izkušenj, bomo lahko še pred pričetkom rutanja ocenili, ali je mogoče vezje izvesti na enostranski tiskanini.

Dvostranske tiskanine

Dvostransko vezje ponuja dodatno svobodo za rutanje. Stvari, ki so na enostranskem vezju skoraj nemogoče, postanejo dostikrat relativno enostavne, kadar dodamo plast.

Veliko (neizkušenih) načrtovalcev tiskanin postane lenih, ko rutajo dvostranske plošče. Običajno menijo, da namestitev komponent ni tako pomembna, stotine skoznjkov pa bo rešilo vse njihove probleme. Pogosto nameščajo integrirana vezja v lepo urejene vrste, potem pa vse povezave rutajo s pravilom pravokotnih povezav. To pomeni, da rutajo vse povezave na spodnji strani v eno smer, povezave na zgornji strani pa rutajo pravokotno glede na spodnje povezave. Teorija pa pravi, če menjamo plasti dovolj pogosto, lahko rutamo skoraj vse. Takšna tehnika je nelepa in neučinkovita in nas vrača v stare ročne tehnike. Veliko enostavnih in osnovnih samodejnih ruterjev deluje na ta način.

Vztrajajmo pri uporabi dobre tehnike nameščanja komponent in učinkovitega rutanja po posameznih delih vezja.

Pri dvostranskih tiskaninah lahko uporabimo tudi tehniko namestitve dobrih ozemljitvenih površin, ki so posebej uporabne v visokofrekvenčnih vezjih. O tem bomo govorili kasneje.

Druge plasti

Poleg bakrenih plasti poznamo nekaj drugih pomembnih plasti.

Beli tisk

Beli tisk je plast, ki označuje komponente na plošči. Običajno je beli tisk na zgornji strani vezja in po potrebi tudi na spodnji strani. Označuje obris komponente, njene referenčne oznake (C1, R1, itd.) in tekstovne oznake vezja.

Vezju se dodaja s posebnim postopkom tiskanja. Običajno za beli tisk uporabljamo belo barvo, lahko pa na posebno zahtevo uporabimo tudi druge barve. Lahko bi celo mešali več barv, a to običajno poveča ceno plošče.

Pri načrtovanju tiskanine pazimo, da imajo vse oznake komponent enako velikost teksta. Vsi tekstovni elementi so orientirani v isto smer.

Pri izdelavi podnožij za komponente pazimo, da izdelamo obris komponente čim bolj enak njeni dejanski velikosti in obliki. Na ta način bomo lahko komponento namestili čim bolj v skladu z njeno dejansko velikostjo. Razen tega moramo označiti polarizirane komponente. Beli tisk je najbolj nenatančno narejena plast. Zagotoviti mora samo to, da se posamezni elementi belega tiska med sabo ne prekrivajo. S proizvajalcem tiskanine se dogovorimo, kakšna je najmanjša dovoljena debelina črt belega tiska.

Velja pa osnovno pravilo, da v belem tisku navajamo samo referenčno oznako belega tiska, ne pa njene vrednosti.

Zaščitni lak ali maska za spajkanje

Zaščitni lak je posebna zaščitna prevleka za tiskanino, ki prekriva celotno ploščo, nad priključnimi blazinicami in skozi njimi pa so odprtine. Te odprtine omogočajo spajkanje. Zaščitna prevleka med priključnimi blazinicami preprečuje nastajanje kratkih stikov med njimi. Programi za načrtovanje tiskanin običajno sami odstranijo beli tisk nad priključnimi blazinicami in skozi njimi. Vrzel med priključno blazinico in robom zaščitnega laka se imenuje razširitev zaščitne maske (mask expansion) in jo običajno nastavimo na nekaj mil. Paziti moramo, da je ne nastavimo na preveliko vrednost, sicer se lahko zgodi, da ne bo več zaščitnega laka med priključnimi blazinicami, ki so blizu skupaj, na primer pri komponentah z zelo majhnimi razdaljami med priključnimi blazinicami.

Masko za spajkanje običajno prikažemo v negativni obliki, enako kot napajalne ploskve. Običajno nam zaščitne maske ni potrebno spreminjati. Lahko pa vanjo vgradimo odprtine, na primer za določene bakrene povezave, ki jih želimo dodatno spajkati in na ta način povečati njihovo tokovno obremenitev. Poleg tega lahko v plast zaščitnega laka vgradimo dodatna tekstovna sporočila ali oznake.

Običajna barva zaščitnega laka je zelena in jo nanašamo neposredno na bakrene povezave. Dodajamo lahko še druge zaščite, a to ni običajno.

Skozi njike lahko prekrijemo z zaščitnim lakom, če to želimo. To je uporabno za tiskanine z manjšimi tolerancami, kjer ne želimo, da spajka steče v skozi njike.

Plasti z mehanskimi podatki

Plasti z mehanskimi podatki o tiskanini (imena se lahko razlikujejo glede na to, kateri program za načrtovanje uporabljamo) uporabljamo za mehansko obliko tiskanine in druge podatke o njej. Običajno ne spada med osnovne načrte plošče, vendar pa lahko koristi proizvajalcu plošče, ki mu povedo, kako naj bo plošča izdelana. Ni pravil, kako naj bodo izdelani načrti v tej plasti, pomembno je samo, da proizvajalcu tiskanine povemo, kako smo jih izdelali.

Prepovedano področje

V plasteh, ki določajo prepovedana področja, običajno določamo področja, kjer ne želimo samodejno ali ročno rutati bakrenih povezav. Vključeni so lahko na primer prazni prostori okrog montažnih lukenj ali visokonapetostnih komponent.

Uravnavanje plasti

Med proizvodnjo tiskanine pri proizvajalcu nastanejo tolerance tudi pri medsebojni nastavitvi filmov za vse plasti. Upoštevati moramo naslednje plasti: bakreno, ravninsko, beli tisk, zaščitni lak in vrtalno plast. S proizvajalcem se posvetujemo, kakšne tolerance moramo upoštevati za medsebojno uravnavanje plasti.

Seznam povezav - netlista

Seznam povezav je spisek vseh signalnih mrež, ki ustreza naši električni shemi. Vsebuje tudi spisek komponent, referenčnih oznak, podnožij in drugih informacij, ki se nanašajo na električno shemo. Datoteko s seznamom povezav tvorimo v urejevalniku za električne sheme.

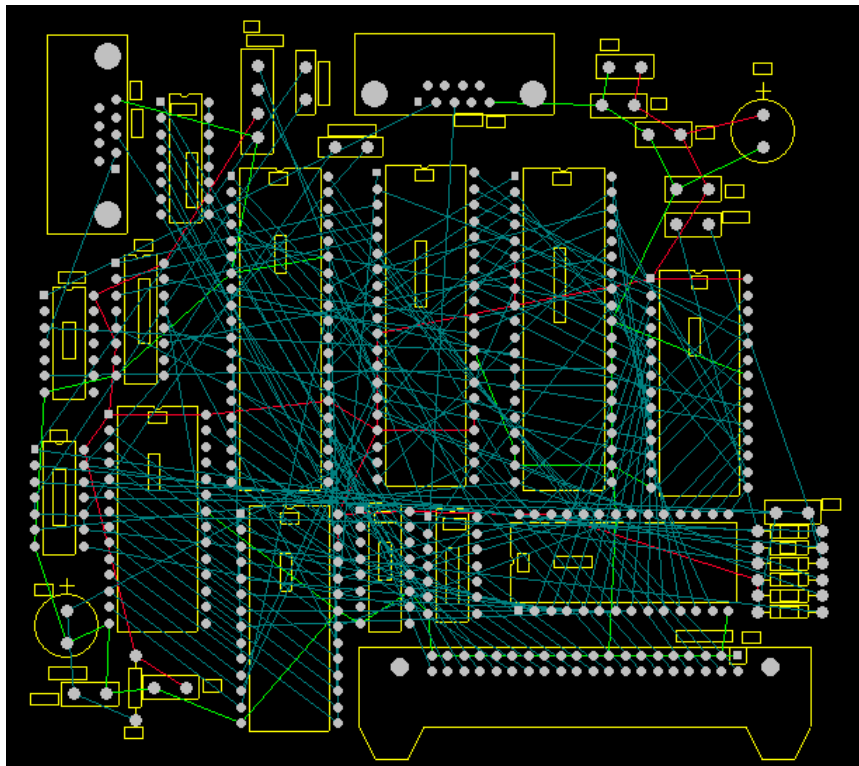
V programu za načrtovanje tiskanine uvozimo podatke iz datoteke s seznamom povezav. Na ta način naložimo vse komponente skupaj s povezavami v prazno ploščo. V okvir tiskanine lahko sedaj razmestimo komponente in vezje ročno ali samodejno rutamo.

Gnezdo povezav

Komponente lahko veliko lažje razporedimo, če vklopimo in prikažemo povezave. To so še nerutane povezave, ki prikazujejo samo, kako so priključki komponent električno povezani med sabo. Imenujemo jih lahko gnezdo povezav ali angleško "rats nest" in prikazujejo gostoto povezanosti naše tiskanine. Na začetku našega načrtovanja so komponente naključno razporejene in vse skupaj zgloda v resnici kot gnezdo ali labirint (povezav).

Gnezdo povezav izgleda na začetku v resnici dokaj "strašljivo". Ko pa komponente premikamo, se skupaj z njimi premikajo tudi električne povezave. Na ta način lahko vidimo, katere komponente so med sabo povezane, ne da bi morali imeti pred sabo električno shemo. Ko bomo enkrat uporabili to funkcijo, jo bomo vedno uporabljali.

Z vklopljenim gnezdom povezav bomo lahko optimalno razporedili komponente, ne da bi rutali eno samo bakreno povezavo. Gnezdo povezav učinkovito prikazuje, katere bakrene povezave moramo še rutati. Povezovalne črte izginejo, ko električno povezavo v celoti rutamo – namestimo bakreno povezavo. Več povezav je rutanih, manj zapleteno je gnezdo povezav. Ko gnezdo povezav izgine, je tiskanina v celoti rutana.



Tipično gnezdo povezav – "rats nest".

Preverjanje pravil načrtovanja

S pomočjo sistema samodejnega preverjanja pravil načrtovanja (DRC – Design Rule Checking) lahko preverimo tiskano vezje glede na napake v povezavah, praznih prostorih in drugih parametrih, ki vplivajo na pojav možnih električnih napak na vezju. Na velikih in zapletenih vezjih, ki jih danes načrtujemo, je praktično nemogoče ročno preveriti tiskanine. DRC je postal pomemben korak v fazi načrtovanja profesionalnih in zapletenih vezij.

Primeri, kaj lahko preverimo s pomočjo sistema DRC:

- Povezave v vezju. Sistem preveri vse bakrene povezave, ali so usklajene z električno shemo.
- Električni prazni prostori. Preverimo lahko velikost praznih prostorov med bakrenimi povezavami, priključnimi blazinicami in komponentami.
- Tolerance proizvajalca, kot so najmanjše in največje velikosti lukenj, širine bakrenih povezav, širine skožnjikov, širine ušesc na priključnih blazinicah ali skožnjikih ter kratkih stikov.

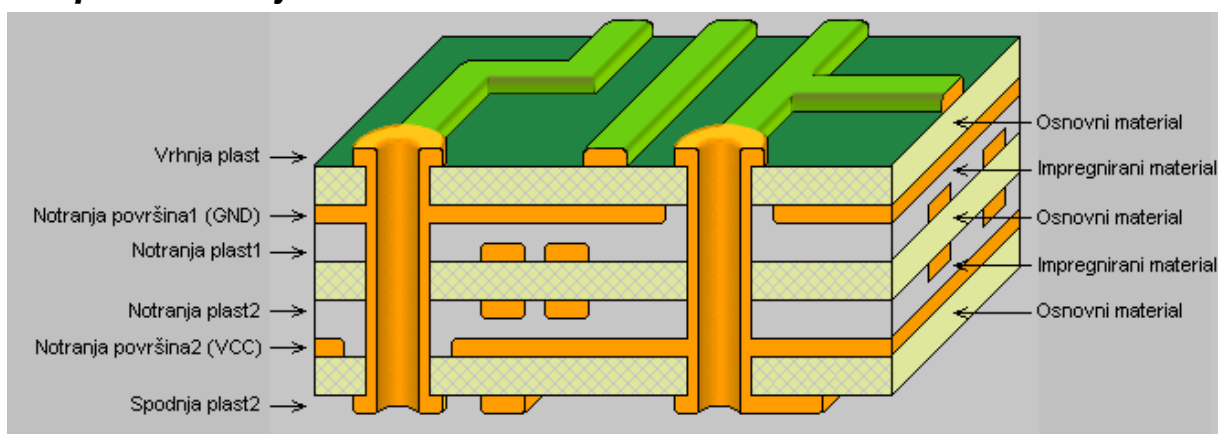
DRC izvajamo v celoti potem, ko smo končali načrtovanje tiskanine. Nekateri programski paketi za načrtovanje tiskanih vezij pa imajo vgrajeno možnost sprotnega preverjanja DRC-pravil med samim načrtovanjem. Med samim rutanjem nam lahko program sproti javlja odstopanja od pravil načrtovanja, če smo na primer bakrene povezave preveč približali med sabo ali do drugih električnih elementov. Če ima program vgrajen sistem sprotnega preverjanja pravil, ga uporabljamo.

Beleženje sprememb v obe smeri (naprej in nazaj)

Beleženje sprememb naprej je posebna funkcija sistema za načrtovanje tiskanih vezij, ki se izvaja, kadar izvajamo spremembe v električni shemi. Program povzame seznam povezav in referenčnih oznak iz električne sheme, jih uvozi v urejevalnik tiskanine, kjer potem napravi ustrezne spremembe in ju s tem medsebojno uskladi. Nekateri programi odstranijo tudi stare bakrene povezave, ki ne ustrezajo več dejanskemu stanju. To funkcijo lahko izvajamo kadarkoli med načrtovanjem tiskanine. Spremembe lahko vnašamo tudi ročno, vendar pa samodejni sistem beleženja sprememb avtomatizira proces načrtovanja in ga napravi zanesljivejšega.

Beleženje sprememb nazaj pa se izvaja, kadar spremenimo referenčne oznake (na primer, "C1" v "C2") v naši tiskanini in posodobimo to informacijo nazaj v električno shemo. Bolj napredni sistemi nam omogočajo medsebojno zamenjavo vrat v istem integriranem vezju in še nekatere druge spremembe. Sicer se beleženje sprememb nazaj redkokdaj izvaja.

Večplastna vezja



Tipično 6-plastno vezje

Večplastno tiskano vezje je veliko dražje in ga je težje proizvajati kot enostransko ali dvostransko. Z njim pridobimo veliko dodatnega prostora za rutanje napajalnih in signalnih bakrenih povezav. Ker lahko rutamo bakrene povezave na notranjih plasteh vezja, lahko komponente namestimo veliko bolj na gosto in je naša tiskanina lahko veliko bolj zgoščena.

Odločitev, da bomo namesto dvostranske tiskanine uporabili večplastno vezje, je velika odločitev. Prepričati se moramo, da so zahteve za to odločitev, cenovne in prostorske, dovolj utemeljene. Vsekakor se za večplastno vezje ne odločamo v primeru načrtovanja vezij, ki so ljubiteljska.

Večplastna vezja se izdelujejo s sodim številom plasti. Najbolj običajno število plasti je 4, 6 in 8. Število plasti lahko še povečamo, vendar so to zelo specializirana vezja.

Tehnično lahko izdelamo tudi tiskanine z lihim številom plasti, na primer 3 plasti, vendar v primerjavi s 4-plastnimi vezji ne prihranimo praktično nič. Dejansko je lahko 3-plastno vezje celo dražje od 4-stranskega, ker zahteva nestandardne proizvodne postopke.

Če se odločimo za večplastno vezje, potem je smiselno izkoristiti vse plasti. Nobenega smisla nima pustiti na primer eno plast popolnoma prazno.

Na večplastnem vezju bomo običajno izkoristili eno celotno plast za ozemljitveno površino in eno plast za napajalno površino. Vanju lahko vgradimo tudi nekaj signalnih bakrenih povezav, če je to potrebno. Kadar načrtujemo digitalno vezje, bomo določili napajalne površine v celoti. Če pa imamo še prostor v vrhnji ali spodnji plasti, lahko tu vgradimo tudi napajalne povezave. Napajalne površine so praviloma v notranjih/srednjih plasteh z ozemljitveno površino bližje vrhnji plasti.

Potem, ko določimo napajalne površine v notranjih plasteh, lahko ugotovimo, koliko prostora nam je preostalo za rutanje signalnih bakrenih povezav. Kar naenkrat se nam odprejo nove dimenzije za rutanje.

V primeru, da so napajalne površine pomembne, lahko preidemo iz 4-plastnega vezja na 6-plastno, kjer pridobimo štiri plasti za rutanje signalnih povezav. Lotimo se lahko resnično naprednega načrtovanja vezja.

Na večplastnem vezju lahko uporabimo tri različne vrste skoznjikov: standardne, zunanje in notranje.

Standardni skoznjiki vodijo skozi vse plasti vezja in lahko povezujejo zgornjo, spodnjo in vse notranje plasti. To lahko pomeni veliko neizkoriščenega prostora na plasteh, ki niso povezane.

Zunanji skoznjiki vodijo povezave iz notranjih plasti do zunanje plasti. Luknje ne prodrejo na drugo stran tiskanine. Z ene strani luknje skoznjika ne vidimo.

Notranji skoznjiki povezujejo dve ali več notranjih plasti. Luknje ne vidimo na nobeni strani tiskanine. Luknja je v celoti v notranjosti plošče.

Notranji in zunanji skoznjiki stanejo več kot običajni skoznjiki. So pa zelo uporabni in obvezni v vezjih z veliko gostoto, predvsem kadar uporabljamo BGA-podnožja.

Napajalne površine

Držimo se dobre prakse in s pomočjo napajalnih površin enakomerno porazdelimo napajanje po naši tiskanini. S pomočjo napajalnih površin bomo pomembno zmanjšali induktivnost in impedanco napajalnih priključkov. To je lahko zelo pomembno pri visokofrekvenčnih vezjih. Uporabimo jih lahko celo pri dvostranskih vezjih, če so bakrene povezave na vrhnji strani.

Napajalna površina je običajno strnjena bakrena plast, ki jo povežemo na ozemljitvene ali napajalne povezave. Napajalne površine običajno umestimo na notranje plasti, bližje zunanjim površinam. Na 4-plastni tiskanini običajno dodelimo eno plast ozemljitveni površini, drugo plast pa porazdelimo med različne pozitivne in negativne napajalne signale.

Nekateri programski paketi za načrtovanje tiskanin predvidevajo posebne napajalne površine, ki so prikazana inverzno običajnim signalnim povezavam. Pri običajni signalni povezavi je plošča predstavljena kot prazni prostor; rutane povezave pa postanejo dejanske bakrene povezave. Napajalna površina je v izhodišču prekrita z bakrom. Kadar rutamo dodatne bakrene povezave v napajalni površini, se baker dejansko odstrani in naredi prostor dodatni povezavi. Takšnega pristopa se moramo običajno še navaditi.

Enostavne napajalne površine ne vsebujejo nobenih bakrenih povezav in vsebujejo torej samo eno strnjeno bakreno površino. Pri bolj zapletenih vezjih pa običajno razdelimo napajalne površine z dodatnimi bakrenimi povezavami. Običajno ločimo digitalno in analogno ozemljitev, s čimer zmanjšamo digitalne motnje v občutljivejšem analognem delu vezja. Tipično razdelitev napajalne površine napravimo z bakreno povezavo od vhodnega napajalnega konektorja ali kondenzatorjev omrežnega filtra do drugega roba plošče. Paziti pa moramo, da iz napajalne površine ne napravimo zanke s tem, da povežemo dve polovici z različnih strani plošče.

Napajalnih površin nam ni potrebno uporabljati, če tega ne želimo. Uporabljamo lahko običajne signalne plasti in sami nameščamo bakrene zalivke in povezave.

Dobra ozemljitev

Ozemljitev (masa) predstavlja običajno temelj za dobro delovanje večine elektronskih vezij. Dobra ali slaba ozemljitvena površina vpliva na delovanje vezja. Predstavili bomo nekaj osnovnih priporočil za dobro ozemljitev vezja, ki ga načrtujemo.

- Uporabimo veliko bakra. Več bakra vgradimo v ozemljitveno površino, manjša je njena impedanca. Uporabimo poligone kot bakrene zalivke in površinske plasti, kjer je to mogoče.
- Na večplastnih vezjih vedno uporabimo eno površinsko plat za ozemljitev in jo namestimo čim bližje vrhnji plasti.
- Za kritične dele vezja povežimo ločene ozemljitvene poti do glavnega filterskega kondenzatorja. Ta princip poznamo kot zvezdasta ozemljitev, ker vodimo ozemljitvene povezave iz osrednje točke. To pa pogosto zgleda kot zvezda. Ta način uporabljamo kar kot sam po sebi umeven način tudi, kadar vezje ni kritično. Ločene ozemljitvene povezave tudi ločujejo motnje, ki jih povzroča ena komponenta drugi komponenti.
- Kadar uporabimo površinske plasti za ozemljitev, koristimo možnost za razcep površine kot osnovo za učinkovito ozemljitev.
- Točke, ki jih moramo povezati na ozemljitveno površino, povežimo s čim krajšimi bakrenimi povezavami.
- S pomočjo večkratnih skoznjikov zmanjšamo impedanco povezav do ozemljitve.

Dobro signalno blokiranje

Aktivnim komponentam našega vezja, ki porabljajo velike preklopne tokove, vedno blokiramo napajalne priključke. S tem izgladimo napajalno povezavo, ki vodi do tega dela vezja. Za blokiranje običajno uporabimo kondenzatorje, ki jih povežemo čim bližje napajalnemu priključkom kritičnega dela vezja. Tipična vrednost kondenzatorja za blokiranje je 100nF, čeprav lahko uporabimo tudi vrednosti 1nF in 10nF. Uporabimo lahko celo več različnih vrednosti kondenzatorjev na enem delu vezja. Za blokiranje višjih frekvenc običajno uporabljamo keramične kondenzatorje, za nižje frekvence pa po potrebi tudi elektrolitske

kondenzatorje, za katere velja, da pri višjih frekvencah ne delujejo več kot idealni kondenzatorji za blokiranje.

Pri večjih površinah tiskanine moramo za različne dele vezja uporabiti večje število kondenzatorjev za blokiranje. Samo z enim kondenzatorjem ne moremo blokirati celotnega vezja. Velike tiskanine imajo veliko število kondenzatorjev za blokiranje.

Tehnike načrtovanja visokofrekvenčnih vezij

V visokofrekvenčnih vezjih moramo upoštevati učinke parazitnih induktivnosti, kapacitivnosti in impedanco povezav tiskanega vezja. Kadar imamo opravka s hitrimi signali in so naše bakrene povezave predolge, lahko takšne povezave prevzamejo lastnosti prenosne linije. Če v takšni situaciji ne uporabimo pravih tehnik za prenosne linije, lahko pride do odbojev in drugih problemov, ki pokvarijo signale, ki jih prenašamo.

"Kritična dolžina" bakrene povezave je, ko se časovni potek električnega signala približa dolžini bakrene povezave. Na običajnih tiskaninah iz materiala vrste FR4, se signal širi s hitrostjo 6 palcev vsako nanosekundo. Velja približno pravilo, da moramo paziti na dolžine povezav pri polovični vrednosti. Zavedati se moramo, da vsebujejo pravokotni signali višje harmonske komponente. 100 MHz pravokotni signal lahko vsebuje komponente do vrednosti nekaj GHz.

V visokofrekvenčnih vezjih je ozemljitvena plošča zelo pomembna za pravilen potek signalov, ki tudi zmanjša emisijo elektromagnetnih motenj. Omogoči nam, da lahko tvorimo bakrene povezave s kontrolirano impedanco, ki se ujema z električnim izvorom in bremenom. To omogoči, da imamo lahko signale sklopljene z njihovo povratno povezavo (GND).

Obstaja več načinov za tvorbo nadzorovane impedance prenosnih linij na tiskanini. Dve najbolj popularni liniji se imenujeta "Mikrostrip" in "Stripline".

"Mikrostrip" linijo tvorimo z bakreno povezavo na vrhni plasti in ozemljitveno plastjo pod njo. Izračun karakteristične impedance "Mikrostrip" linije je relativno kompleksen. Zasnovan je na debelini bakrene povezave in višino nad ozemljitveno povezavo in relativno dielektričnostjo materiala tiskanine. Zaradi tega je pomembno, da je ozemljitvena površina čim bližje (običajno) vrhni plasti.

"Stripline" linija je podobna "Mikrostrip" liniji, vendar z dodatno ozemljitveno površino nad bakreno povezavo. V tem primeru je torej bakrena povezava v notranji plasti. Prednost "Stripline" linije pred "Mikrostrip" linijo je v tem, da se večino sevanja ohranja znotraj ozemljitvenih površin.

Obstaja večje število programov, s pomočjo katerih lahko izračunamo različne variante "Mikrostrip" in "Stripline" prenosnih linij.

Naštejmo nekaj uporabnih informacij in približnih pravil za načrtovanje visokofrekvenčnih vezij:

- Visokofrekvenčne signalne povezave naj bodo čim krajše.
- Izogibajmo se povezovanju kritičnih visokofrekvenčnih signalnih povezav preko izsekov v ozemljitvenih površinah. Posledica tega je v prekinitvi povratne signalne poti in povzročitvi elektromagnetne motnje. Izogibajmo se izsekom v ozemljitvenih površinah. Izsek se obnaša drugače kot razdelitev ozemljitvene površine, ki ni škodljiva in omogoča povezovanje visokofrekvenčnih signalov preko ustreznih neprekinjenih površin.

- Uporabimo po en kondenzator za blokiranje na napajalni priključek.
- Če je mogoče, povežimo najprej napajalno povezavo na kondenzator za blokiranje in nato na ozemljitveno površino. To zmanjša motnje na napajalno površino. Za visokofrekvenčna vezja pa pomeni povezava napajalnega priključka neposredno na ozemljitveno površino manjšo induktivnost, kar lahko učinkuje bolje kot nižji nivo motenj na površinsko plast.
- Zavedati se moramo, da povzročijo skoznjiki diskontinuiteto na karakteristični impedanci prenosne linije.
- Za zmanjšanje prečnih motenj med dvema bakrenima povezavama zmanjšajmo razdalje do ozemljitvene površine in povečajmo razdalje med povezavama. Koefficient sklopa med dvema bakrenima povezavama podaja naslednji izraz: $1/(1+(Razdalja\ med\ povezavama / višina\ nad\ površino)^2)$.
- Manjša luknja v skoznjiku ima manjšo parazitno induktivnost in jo uporabimo pri visokofrekvenčnih vezjih.
- Nikoli ne povežimo glavnih napajalnih konektorjev neposredno na napajalno površinsko plast, ampak preko glavnega kondenzatorja za filtriranje.

Nameščanje komponent na obe strani vezja

Nameščanje komponent na obe strani vezja lahko prinaša več prednosti. Obstajata dva razloga za dvostransko nameščanje komponent. Prvi razlog je velikost plošče. Če moramo izdelati določeno velikost plošče, pa ne moremo namestiti vseh komponent na eno stran, potem lahko določeno količino komponent namestimo na drugo stran. Drugi razlog so posebne električne zahteve. Pri veliki gostoti komponent na eni strani se lahko zgodi, da nam zmanjka prostora na primer za blokiranje kondenzatorje, ali pa jih ne moremo namestiti dovolj blizu komponenti, ki jo blokiramo. Ena izmed takšnih komponent je BGA (Ball Grid Array), kjer je koristna namestitvev kondenzatorja za blokiranje na spodnji strani.

Pogosto naletimo na tiskanine, kjer so na vrhni strani nameščeni samo kondenzatorji za blokiranje. To omogoča, da približamo kondenzator za blokiranje čim bližje napajalnemu priključku komponente.

V fazi načrtovanja tiskanine se moramo posvetovati s tehnologom, ki pripravlja nameščanje komponent. Obstajajo stvari, ki jih z dvostranskim nameščanjem ne moremo realizirati.

Tiskanina s komponentami na obeh straneh je seveda dražja za izdelavo.

Samodejno rutanje

“Pravi načrtovalci tiskanih vezij ne uporabljajo samodejnega rutanja!” je stari izrek v tej panogi tehnike. To je seveda samo deloma res, obstajajo vezja, kjer dejansko ne moremo uporabiti samodejnega rutanja, obstajajo pa vezja, kjer moramo razmisliti o njegovi uporabi.

Samodejno rutanje je proces, kjer sistem za načrtovanje tiskanin ruta bakrene povezave namesto nas. Poizkuša lahko rutati tudi celotno vezje. Velika večina sistemov za načrtovanje srednjega in višjega razreda ima vgrajene sisteme za samodejno rutanje.

Zakaj ne uporabljamo vedno samodejnega rutanja, če ga računalnik lahko izvaja namesto nas? Ali ne predstavlja ta proces samo avtomatizacije nekaterih posebnih postopkov nameščanja bakrenih povezav?

Odgovor ni enostaven in enostranski. Ne glede na to, kako pameten samodejni ruter uporabljamo, le-ta ne more nadomestiti dobrega načrtovalca tiskanih vezij. To je kot, da bi

zahtevali od računalnika, naj naslika sliko za nas. Če damo računalniku dovolj informacij, bo morda naslikal nekaj razpoznavnega, vendar to ne bo nekaj umetniškega in vsekakor ne Mona Lisa.

Veliko ljudi meni, da lahko samodejni ruter pomaga ne preveč izkušenim načrtovalcem tiskanih vezij. V resnici velja ravno nasprotno. V rokah neizkušenega načrtovalca bo samodejni ruter napravil veliko zmešnjavo. V rokah izkušenega načrtovalca tvori samodejni ruter odlične rezultate veliko hitreje kot od načrtovalec – človek.

Samodejni ruter lahko uporabimo, kadar obdelujemo zapletena vezja, kjer ni veliko prostora in nekritičnih delov vezja. Nekritična vezja so lahko na primer: nizkofrekvenčni signali, statični kontrolni signali za krmiljenje komponent kot so LED-prikazovalniki, stikala in releji. Napredni samodejni ruterji obsegajo orodja, ki nam omogočajo, da določimo, kako natančno želimo imeti rutane električno kritične povezave. Obstoječi sistemi zahtevajo od nas, da kot navodila ruterju vnesemo dokaj natančna navodila za vsako povezavo posebej, kar lahko končno tudi sami rutamo.

Nikoli pa ne uporabimo samodejnega ruterja za rutanje celega vezja, rezultat je lahko popolna zmešnjava. Če ga pa uporabimo na nekritičnih delih vezja, lahko dobimo odlične rezultate, ki se včasih ne razlikujejo od ročnega rutanja. Rutamo lahko posamezne povezave, kar je lahko zelo koristno, kadar prostora ne najdemo takoj, da dokončamo bakreno povezavo.

Dokler ne postanemo izkušeni načrtovalci tiskanin, se izogibajmo samodejnih ruterjev. Pravi načrtovalci ne uporabljajo samodejnega rutanja.

Samodejno nameščanje komponent

Orodja za samodejno nameščanje najdemo predvsem v višje nivojskih orodjih za načrtovanje tiskanin. Profesionalni načrtovalci ne uporabljajo orodij za samodejno nameščanje. Ne smemo se zanašati na orodja za samodejno nameščanje komponent, da bi dosegli optimalno vezje. Samodejno nameščanje komponent nikoli ne deluje (razen kadar nimamo opravka z ekstremno enostavnim vezjem), ne glede na to, kaj trdijo izdelovalci programa, ki ga uporabljamo.

Ta orodja pa imajo vgrajeno uporabno funkcijo, ki nam v začetni fazi razmesti komponente po površini vezja.

Priprava vezja za proizvodnjo

Panelizacija

Kadar bomo elektronski sklop na osnovi tiskanine, ki jo načrtujemo, izdelali s pomočjo strojnega nameščanja komponent, moramo sestaviti čim več plošč v tako imenovano panelno postavitev. Panel je večja plošča, ki vsebuje večje število identičnih kopij iste tiskanine. Za namestitev plošče v stroj za nameščanje komponent je potreben čas. Čim več plošč uspemo združiti na en panel, bolj cenovno učinkovita bo proizvodnja elektronskega sklopa.

Panel vsebuje tudi dodatne oznake na vrhnji in spodnji strani, ki omogočajo samodejno rokovanje z njim.

Različni proizvajalci imajo različne velikosti panelov, na katere lahko nameščajo komponente, oziroma proizvajajo elektronske sklope.

Vsaka posamezna plošča je lahko ali rezkana in združena z ozkimi prekinitvenimi jezički (5-10 mm) ali pa obojestransko ločena od sosednje z "V-izrezom" (uporabljamo izraz

"zaricana"). V-izrez (izrez v obliki črke V) je običajno na obeh straneh plošče in omogoča enostavno rezanje ali kar lomljenje panel na posamezne plošče.

Za ločevanje plošč v panelu in kasnejše ločevanje z lomljenjem ali rezanjem lahko uporabimo tudi dovolj na gosto navrtane luknje.

Optimalno panelizacijo naše tiskanine določimo skupaj s proizvajalcem elektronskega sklopa. Običajno pa panelizacijo izdelava kar proizvajalec elektronskega sklopa sam.

Tehnološki robovi

Tehnološki robovi so trakovi prazne plošče ob spodnjem in zgornjem robu panela. Na njej namestimo luknje za orodje, izhodiščne oznake in druge informacije za proizvodnjo elektronskega sklopa.

Standardne luknje za orodje namestimo z namenom, da lahko stroji samodejno obdelujejo panel v proizvodnem procesu. Obstajata dve standardni velikosti teh lukenj in sicer 2.4 mm in 3.2 mm. Štiri luknje, po ena na vsakem vogalu plošče zadostujejo za panel.

Tehnološki robovi so povezani na panel s prekinitvenimi jezički ali z V-izrezom.

Izhodiščne oznake

Izhodiščne oznake so vidne poravnalne oznake na panelu. Uporabljajo jih stroji za samodejno pobiranje in nameščanje pri poravnavanju plošče in za iskanje referenčne točke. Video kamera lahko poišče sredino izhodiščne točke in jo uporabi kot referenčno točko.

Na panel moramo namestiti tri izhodiščne točke, ki jih poznamo kot globalna izhodišča: spodaj levo in desno ter zgoraj levo. Biti morajo vsaj 5 mm od roba panela. Lahko jih namestimo na tehnološke robove.

Izhodiščne oznake morajo biti v obliko okrogle priključne blazinice s premerom 1.5 mm. Ne smemo jih prekriti z zaščitnim lakom; zaščitna maska mora biti oddaljena vsaj 3 mm okrog nje.

Termalni priključki

Kadar povežemo priključno blazinico neposredno na večjo bakreno površino, se običajno zgodi, da ta površina deluje kot učinkovito hladilno telo. To povzroči učinkovito odvajanje toplote stran od priključne blazinice med spajkanjem. To lahko ima za posledico, da nastanejo hladni spoji ali druge napake spajkanja. V tekšnih primerih uporabimo termalne priključke, ki združujejo določeno število (običajno 4) manjših bakrenih povezav med priključno blazinico in bakreno površino. Termalne priključke lahko v večini programskih paketov nastavimo za samodejno uporabo.

Spajkanje

Način spajkanja moramo upoštevati že v fazi rutanja plošče.

Poznamo tri osnovne tehnike spajkanja – ročno, valjno in spajkanje v peči.

Ročno spajkanje običajno uporabljamo pri izdelavi prototipov in manjših serij. Pri rutanju vezja moramo upoštevati dostop do priključkov komponent s spajkalno konico in uporabo termalnih priključkov, kjer je to potrebno. Kadar uporabljamo ne-metalizirane dvostranske plošče, moramo predvideti dovolj prostora za dostop priključne spajkalne konice do priključnih blazinic na vrhnji strani.

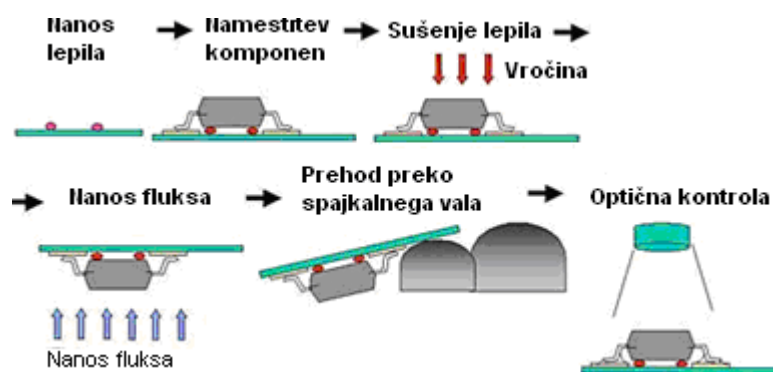
Valjno spajkanje se pogosto uporablja pri elementih za površinsko nameščanje in žičnih elementih. Celotna tiskanina se zapelje preko spajkalnega vala. Za preprečitev tvorbe kratkih

stikov moramo nujno uporabiti plast zaščitnega laka. Poleg tega moramo paziti, da ne namestimo manjših komponent v "spajkalno senco" večjih komponent. Plošča potuje preko spajkalnega vala v eni smeri in lahko se zgodi, da večje komponente preprečijo dobro spajkanje manjših komponent, ki so v bližini večjih. SMD-komponente se pred spajkanjem zalepijo na ploščo s pomočjo posebnega lepila.

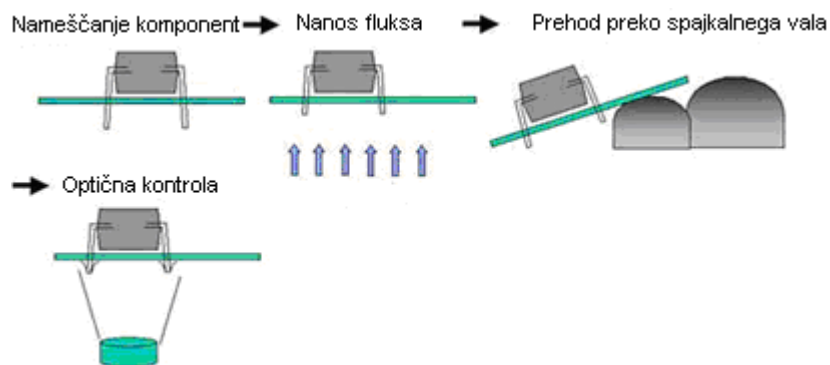
Spajkanje v peči uporabljamo za spajkanje SMD-komponent. Na prazno ploščo najprej na priključne blazinice namestimo spajkalno pasto (s pomočjo posebne šablone). Potem namestimo vse komponente. Včasih jih še dodatno zalepimo z lepilom. Celo ploščo zatem naložimo v posebni infra ali dušikovo peč, kjer se plošča segreje na dovolj visoko temperaturo. Spajkalna pasta na priključnih blazinicah se stopi in zalije priključke komponent in jih spajka. Danes že obstajajo posebne metode spajkanja žičnih komponent v peči.

Na ploščah, kjer imamo nameščene žične in SMD-komponente, lahko uporabljamo kombinacijo valjnega spajkanja in spajkanja v peči.

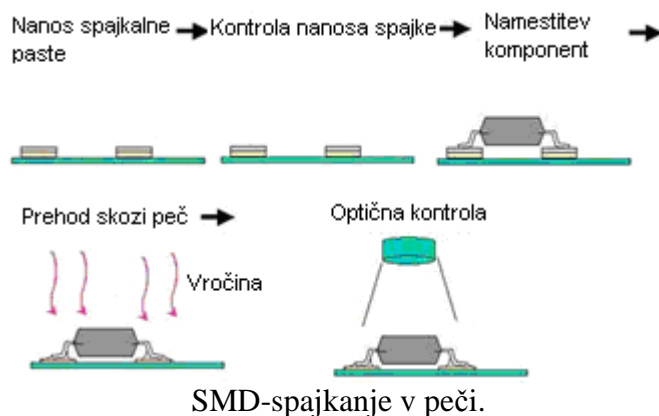
Valjno spajkanje je cenejše, vendar omejuje prostor pri nameščanju komponent. Spajkanje v peči je dražje, vendar omogoča večjo gostoto nameščanja SMD-komponent.



SMD valjno spajkanje.



Spajkanje žičnih komponent.



Osnove proizvodnje tiskanih plošč

Tiskana plošča je običajno narejena iz materiala, katerega osnova so steklena vlakna. Običajno je plošča debela 1.6 mm. V veliki meri pa uporabljamo še debeline 0.8 mm in 2.4 mm. V DODATKU A lahko vidimo, da lahko slovenski proizvajalec dobavlja debeline tiskanih od 0.5 mm do 3.2 mm. Za tiskane plošče uporabljamo različne materiale, največkrat pa uporabljamo FR4-plošče iz epoksi stekla. Ta material ima standardne lastnosti, ki jih določa spodnja tabela. Parameter, ki ga najbolj pogosto uporabljamo, je dielektrična konstanta, ki je pomembna za izračun visoko frekvenčnih lastnosti. FR4-tiskanina je običajno narejena iz stekla in posebne smole. Dielektrična konstanta stekla ima približno vrednost 6, smola pa 3. FR4-material ima običajno dielektrično konstanto v vrednosti od 4 do 5. Za natančno vrednost pa moramo povprašati proizvajalca.

Tipične lastnosti FR4-materiala:

Dielektrična konstanta	3.9 to 4.8
Preboj dielektrika	39kV/mm
Vpijanje vlage	<1.3%
Faktor izgub	0.022
Termalni raztezki	16-19ppm/°C

Opomba: Te vrednosti se razlikujejo med proizvajalci in jih moramo preveriti pri dobavitelju.

Obstajajo še drugi eksotični materiali, kot na primer teflon, vendar jih uporabljamo samo za posebna vezja, ki zahtevajo material z visoko stopnjo čistosti. Uporabljamo lahko tudi cenejše materiale kot FR4. Takšen material je na primer CEM1, zasnovan na fenolih. Uporablja se predvsem v proizvodih za široko potrošnjo. Ta material ni primeren za plošče z metaliziranimi luknjami ali plošče z majhnimi tolerancami.

Obdelava površine tiskanine

Proizvajalci nam lahko dobavijo plošče s površino, ki je obdelana na različne načine. Zelo poceni enostranske in dvostranske plošče brez maske za spajkanje imajo površino tipično obdelano s spajko. V tem primeru moramo paziti na možne kratke stike med bakrenimi elementi.

Profesionalno izdelane plošče imajo nanos zaščitnega laka preko bakrenih povezav (SMOBC – Solder Mask Over Bare Copper). Priključne blazinice in skožnjiki so obdelani z vročim

zrakom (HAL - Hot Air Level). Takšna obdelava pomaga, da so SMD-komponente ravno položene na ploščo. V DODATKU A lahko vidimo, da slovenski proizvajalec ponuja površinsko obdelavo vrste HASL.

Za velike in kritične SMD-komponente uporabimo pozlačene priključke. To nam zagotovi ekstremno ravne površine za komponente z zelo na gosto razporejenimi priključnimi blazinicami. Seveda pa je cena plošče potem primerno višja.

Električno testiranje

V fazi proizvodnje lahko proizvajalec preveri električne povezave in kratke stike. To je običajno narejeno s strojem za samodejno testiranje, ki se na vezje priključi s posebnim igličnim sistemom. Preveri, ali so vse bakrene povezave neprekinjene. Seveda predstavlja dodatni strošek, so pa koristne predvsem pri večplastnih vezjih.

Podpis

Kot na vsako umetniško delo moramo tudi na tiskanino dodati naš podpis. Zanj lahko izberemo kakršnokoli obliko. Namestimo ga lahko na katerokoli bakreno plast.

Posredovanje načrtov proizvajalcu

Najprej moramo vedeti, v kakšni obliki bomo poslali podatke proizvajalcu. Običajna oblika za posredovanje podatkov proizvajalcu so Gerber datoteke. Večina proizvajalcev jih bo sprejela. Gerber datoteke tvorimo s posebnim dodatnim korakom v fazi načrtovanja tiskanine. Običajno ima vsak programski paket za načrtovanje tiskanin vgrajen poseben postopek za tvorjenje teh datotek. Proizvajalec bo ob naročilu zahteval naslednje podatke:

- Referenčno kodo in revizijsko številko plošče. Z njuno pomočjo lažje sledimo spremembam.
- V kolikšnem času želimo imeti dobavljeno tiskanino. Plošča, ki nam jo proizvajalec dobavi v 24 urah, stane veliko več kot plošča, ki nam jo bo dobavil v 2 tednih.
- Kolikšna je naročena količina.
- Debelina plošče (1.6 mm, 0.8 mm, 2.4 mm, itd). Standardna debelina je 1.6 mm.
- Vrsta materiala za ploščo (FR4, Teflon, itd). Standardni material je FR4.
- Število plasti.
- Način površinske obdelave (SMOBC, HAL, GoldFlash). Običajna obdelava je SMOBC in HAL.
- Kakšno barvo laka za zaščitno masko želimo.
- Debelino bakra.
- Ali želimo električno testiranje.
- Prazen prostor med bakrenimi povezavami.
- Kako so določene dimenzije plošče.
- Ali bo naša plošča panelizirana ali jo bomo proizvedli ločeno.

Izdelavo panela prepustimo proizvajalcu elektronskega sklopa.

Pri načrtovanju tiskanine za novi elektronski sklop, ki ga bomo serijsko proizvajali ne smemo pozabiti na stroške orodij za luknjanje plošče, in izdelavo vseh filmov ter priprav za tiskanino.

Tem stroškom pa moramo prišteti še enkratne stroške za priprave in orodja za proizvodnjo elektronskega sklopa. Ti stroški hitro dosežejo vrednost nekaj deset tisoč evrov.

V DODATKU A povzemamo osnovne zahteve enega izmed slovenskih proizvajalcev tiskanih vezij. Preden naročimo proizvodnjo tiskanine in pošljemo dokumentacijo za izdelavo, se moramo s proizvajalcem dogovoriti o vseh podrobnostih izdelave.

DODATEK A: Primer zahtev proizvajalca tiskanih vezij

TISKANA VEZJA GROHAR

IZDELAVA TISKANIH VEZIJ
ANITA GROHAR S.P.

kdo smo

kaj ponujamo

galerija

kako do nas



Izdelava tiskanih vezij
Anita Grohar s.p.
Trojarjeva ulica 34
4000 Kranj

Tel.: 04/ 231 70 60
Fax: 04/ 231 70 61
GSM: 041/ 523 789

E-pošta: info@tiskanavezja-grohar.si

Kaj ponujamo

Procesne zmožnosti:

- **Dokumentacija za izdelavo:**
 - izris filmov, GERBER, PCAD, TANGO, PROTEL, DXF, EAGLE datoteke
 - vrtalni program, S&M, Excellon datoteke
- **Osnovni material:**
 - FR2, CEM1, CEM3, FR4
- **Debeline osnovnega materiala:**
 - od 0,5 – 3,2 mm
 - Cu folije: 18, 15, 70, 105 mic
- **Obdelava:**
 - minimalni premer izvrtine po metalizaciji 0,3 mm
 - razmak med vezmi minimalno 0,15 mm
 - debelina vezi minimalno 0,15 mm
- **Površinska obdelava:**
 - selektivni nanos Sn/Pb 63/37 (HASL)
 - selektivni nanos brez svineca – Pb (LEAD FREE)
 - bakrenje minimalno 20 mic v luknjah
- **Spajkalna kritina:**
 - foto občutljiva spajkalna kritina
 - dvokomponentna spajkalna kritina
 - UV spajkalna kritina
 - montažni natis (bel, črn, rumen...)
- **Specialne kritine:**
 - odtržna kritina za zaščito pri spajkanju
 - grafitna prevleka kontaktov
 - zlatenje kontaktov
- **Mehanska obdelava:**
 - CNC rezkanje in vrtanje
 - izbijanje (orodje)
 - zarezovanje (ritzanje – zarezni kot 30 stopinj)
 - mehanski obrez
- **Kontrola:**
 - optična kontrola
 - električni test