

# ŠTAMPANA KOLA

(PRINTED CIRCUIT BOARDS - PCB)

## STANDARDI

Projektovanje i proizvodnja štampanih ploča specificirani su velikim brojem standarda. Najpoznatiji i najšire korišćeni su standardi organizacije *Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits* – tj. IPC (inicijali prvobitnog naziva *Institute for Printed Circuits*) ⇒ <http://www.ipc.org>

## ELEKTRIČNA ŠEMA

Za profesionalno projektovanje štampane ploče neophodan preduslov je isprojektovana električna šema uređaja. Pogodno je da se električna šema projektuje *schematic editorom* koji pripada istom paketu za projektovanje kojem pripada i *layout editor*. U tom slučaju olakšane su provere ispravnosti layout-a kao i izmene projekta u oba smera (iz jednog editora u drugi).

## **MERNI SISTEM**

**Pri projektovanju u layout editoru mogu da se koriste metrične ili inčevske jedinice za dužinu. Pogodnije je generalno koristiti inčevske jedinice pošto se još uvek većina elektronskih komponenata proizvodi sa rastojanjima između pinova izraženim u ovim jedinicama. Pri korišćenju inčevskih jedinica osnovna jedinica je “hiljaditi” (1/1000 inča), koji se još naziva “mil” (mili inč). Najčešće korišćeno standardno rastojanje između pinova je 100 hiljaditih (tj. 0,1 inč) = 2,54 mm, bar kada se radi o komponentama kod kojih se pinovi pri montaži provlače kroz otvore na štampanoj ploči i zatim leme sa suprotne strane ploče. Metričke jedinice se pretežno koriste za dimenzioniranje ploča i otvora u njima. Sve više novih tipova elektronskih komponenata se proizvodi sa rastojanjima izraženim primarno u metričkim jedinicama, naročito kada se radi o komponentama za površinsku montažu, koje imaju mala rastojanja (“raster”).**

**Layout editori imaju mogućnost korišćenja i inčevskih i metričkih jedinica, što se može u toku rada po potrebi jednostavno menjati.**

## **RAD NA ČVOROVIMA MREŽE**

**Pri radu sa layout editorom, tj. pri projektovanju štampane ploče, elemente (komponente, linije, otvore itd.) treba postavljati na čvorovima određene mreže (“grid”), a ne u proizvoljnim tačkama. Za jednostavne štampane ploče preporučuje se grid od 100 hiljaditih za postavljanje komponenata i grid od 50 hiljaditih za postavljanje (rutiranje) linija. U cilju olakšanja rada na izabranom gridu, pri pomeranju kursora stabilni položaji su samo čvorovi izabrane mreže (“snap to grid”). Po potrebi “snap to grid” način pomeranja kursora može da se isključi, u kom slučaju cursor može da se postavi u tačku sa proizvoljnim koordinatama.**

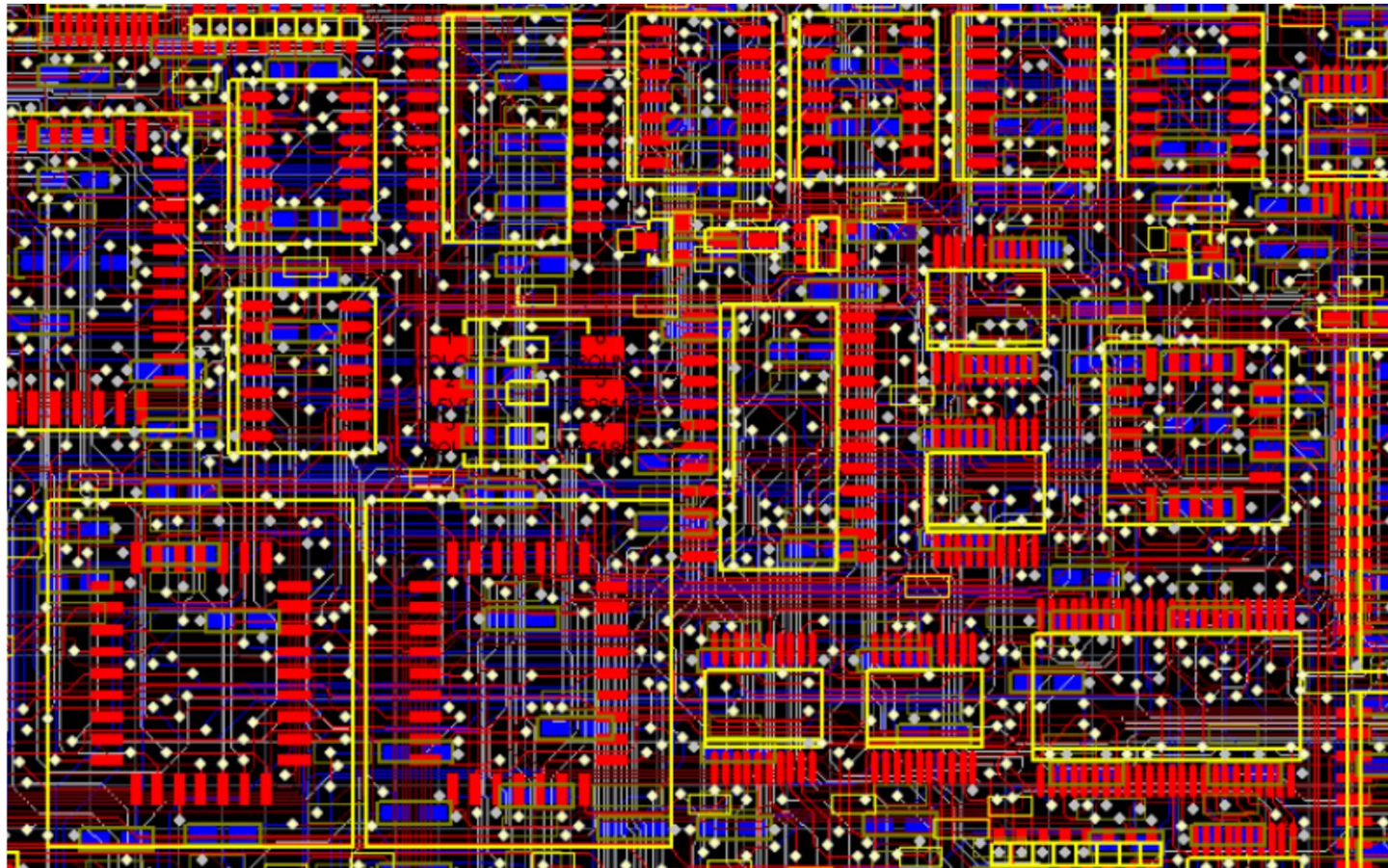
**Postavljanje elemenata na čvorovima mreže olakšava rad, pomeranje elemenata, rutiranje itd. Ukoliko se tokom projektovanja štampane ploče ukaže potreba, može se sa početnog preći na finiji grid: preporučuje se 50, 25, 20, 10 i 5 hiljaditih.**

**Layout editor prikazuje i vizuelni grid u vidu linija ili tačaka u čvorovima. Vizuelni grid se nezavisno podešava od “snap to grid”-a i takođe može da se isključi.**

**Pored prethodna dva postoji i električni grid koji olakšava pozicioniranje kursora na sredinu električnih elemenata tj. linija i “padova” (lemnih mesta za pinove), kao i grid za komponente, koji je multipl osnovnog “snap to grid”-a.**

## “POGLED ODOZGO”

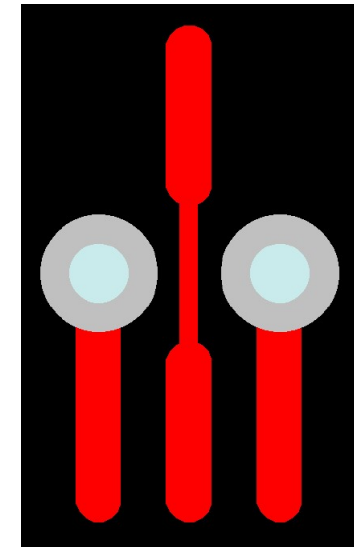
Projektovanje se po pravilu uvek vrši gledajući u “gornju” površinu štampane ploče (strana komponenata). Svi slojevi se prikazuju transparentno, tj. prikazuju se samo elementi na njima. Prikazivanje bilo kog sloja može da se isključi, čime se povećava preglednost pri projektovanju ploča sa velikim brojem slojeva.



## LINIJE

Širina linija zavisi od električnih zahteva projekta i od veličine prostora (površine) za rutiranje. Šire linije imaju manju otpornost za jednosmerne signale, manju induktivnost, lakše su i jeftinije za proizvodnju, lakše su za kontrolu i eventualne prepravke.

Donja granica širine linije zavisi od mogućnosti proizvođača štampane ploče u pogledu izrade linija i njihovog rastojanja. Rezolucija linija/rastojanje obično je oko 10/8 hiljaditih, a IPC standard preporučuje 4 hiljadita kao donju granicu širina. Preporučuje se rad sa širokim linijama koje se po potrebi sužavaju na kratkim intervalima u cilju rutiranja između padova komponenata.



Električni zahtevi koji najviše utiču na izbor širine linija su veličina struje i dozvoljena nadtemperatura zbog zagrevanja usled disipacije.

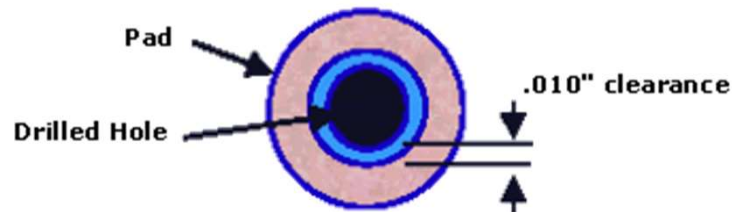
Širina linije u hiljaditima za nadtemperaturu od 10 stepeni C			
Struja (A)	Cu 35 um	Cu 70 um	mOhms/Inch
1	10	5	52
2	30	15	17.2
3	50	25	10.3
4	80	40	6.4
5	110	55	4.7
6	150	75	3.4
7	180	90	2.9
8	220	110	2.3
9	260	130	2.0
10	300	150	1.7

**Širina linije u hiljaditima za nadtemperaturu od 10° C, za dve debljine sloja bakra.**

## PADOVI

Veličina i oblik padova zavise od komponente za koju se koriste i od proizvodnog procesa za montažu komponenata na ploču. Prečnik pada treba da bude minimalno 1,8 puta i minimalno 0,5 mm veći od prečnika otvora za pin.

Uobičajena je praksa da se za diskretne komponente sa priključcima u obliku žica koriste okrugli padovi prečnika oko 70 hiljaditih. Za komponente u DIL kućištima se koriste ovalni padovi dimenzija 60X90 ili 60X100 hiljaditih. Pad za pin 1 čipa je uvek drugačijeg oblika, najčešće pravougaonog, ali istih dimenzija kao padovi ostalih pinova. Padovi za komponente za površinsku montažu (SMD) su obično pravougaonog oblika, iako se za SO kućišta često koriste ovalni (tj. pravougaoni za pin 1). Drugi tipovi kućišta sa numerisanim pinovima takođe treba da imaju pad za pin 1 drugačijeg (pravougaonog) oblika.



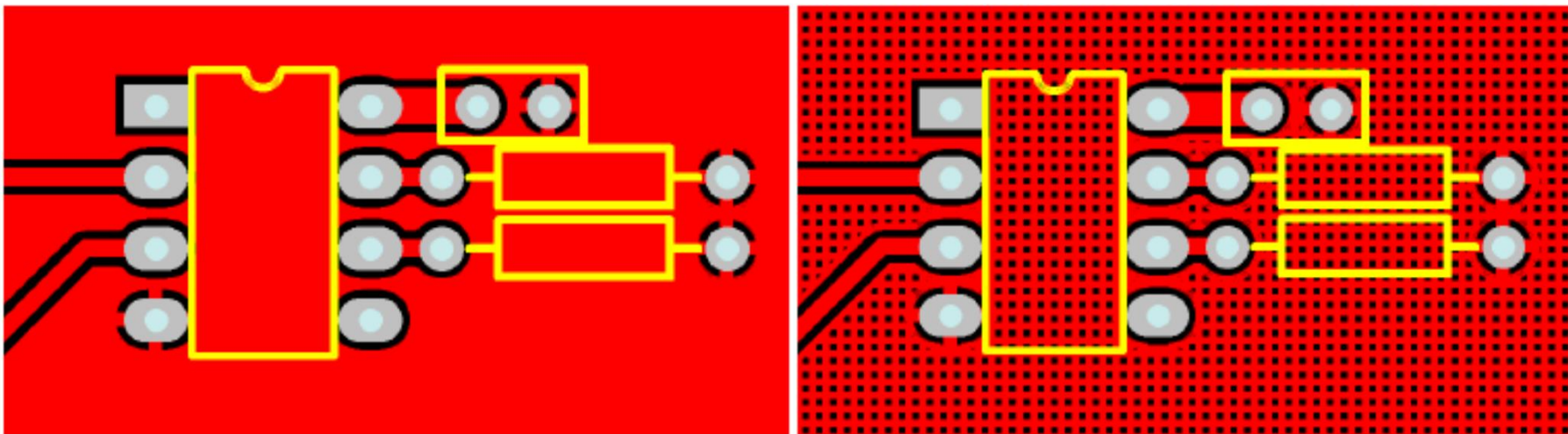


## **SPOJNICE (“VIAS”)**

**Spojnice (vije) spajaju linije sa različitih slojeva štampane ploče pomoću metalizovanog otvora. Fizički se ne razlikuju od padova sa metalizovanim otvorima (mogu da se razlikuju kod višeslojnih štampanih ploča, ako im otvor ne prolazi kroz sve slojeve), ali za layout editor predstavljaju drugačiji tip elementa. Otvori vija su prečnika između 0,5 mm i 0,7 mm.**

## POLIGONI

Poligon popunjava bakrom slobodne međuprostore na površini koju obuhvata, ostavljajući zadatu marginu u odnosu na prethodno projektovane elemente na sloju (linije, padove, vije itd.) Pogodni su za projektovanje površine za masu. Koriste se po završetku projektovanja na sloju, tj. kada je završeno projektovanje linija, padova i drugih elemenata. Bakarne površine definisane poligonom mogu da budu kontinuirane (što je bolje) ili rešetkaste (predstavljene mrežom ukrštenih linija).



## RASTOJANJA

Rastojanja električnih elemenata na sloju moraju da zadovolje zadatu minimalnu vrednost, diktiranu pouzdanošću procesa proizvodnje štampane ploče. Za standardne štampane ploče preporučuje se da minimalna vrednost bude 15 hiljaditih za ploče sa otvorima za pinove, odnosno 10 ili 8 hiljaditih za ploče sa površinskom montažom komponenata.

Rastojanje linija mrežnog napona i izolovanih signalnih linija treba da bude minimalno 8 mm. Kada nisu u pitanju linije mrežnog napona, IPC standard zahteva rastojanje linija u zavisnosti od veličine napona prema sledećoj tabeli:

Rastojanja elektricnih provodnika			
Napon (DC ili Peak AC)	Internal	External (<3050m)	External (>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

## **RASPOREĐIVANJE KOMPONENATA I RUTIRANJE**

**Dobar raspored komponenata ne samo što olakšava rutiranje nego je od presudnog značaja za dobre performanse projektovane ploče.**

### **OSNOVNI KORACI TOKOM PROJEKTOVANJA ŠTAMPANE PLOČE:**

- **Podesiti “snap to grid”, vidljivi grid i osnovne veličine linija i padova.**
- **Postaviti sve komponente na površinu ploče.**
- **Grupisati komponente u funkcionalne blokove (koliko je moguće).**
- **Identifikovati kritične linije i njih prve rutirati.**
- **Rasporediti komponente u funkcionalnim blokovima i rutirati ih odvojeno, eventualno i van površine štampane ploče.**
- **Preneti završene funkcionalne blokove na odgovarajuće pozicije na štampanoj ploči.**
- **Rutirati preostale linije između blokova.**
- **Izvršiti završna doterivanja po završetku rutiranja.**
- **Izvršiti “Design Rule Check” (DRC - provera rastojanja i ostalih podešenih graničnih vrednosti).**
- **Obezbediti kontrolu završenog projekta od strane nadležne ili druge stručne osobe.**

**Rutiranje je proces postavljanja linija u cilju povezivanja komponenata na ploči. Električna veza između dva ili više padova (priključaka elemenata) naziva se čvorom.**

### **OSNOVNA PRAVILA RUTIRANJA:**

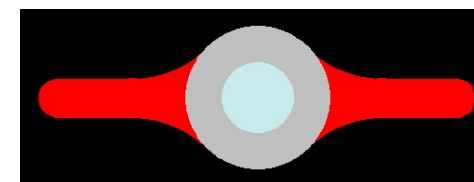
- **Linije u okviru čvora treba da budu što kraće. Sa povećanjem ukupne dužine linija u čvoru rastu parazitna otpornost, induktivnost i kapacitivnost.**
- **Uglovi linija treba da budu  $45^\circ$ , a po potrebi  $90^\circ$ , ni u kom slučaju veći .**
- **Linije ne treba rutirati direktno od jednog do drugog pada, već ih treba grupisati i rutirati zajedničkim koridorima, čime se smanjuje ukupno zauzeće površine ploče i poboljšava izgled završene ploče.**
- **Tokom rutiranja električni grid treba da bude aktiviran, čime se olakšava povezivanje centara električnih elemenata na ploči. Završetke linija i padove uvek treba povezivati tako da im se centri poklapaju.**
- **U cilju olakšavanja naknadnih popravki i modifikacija, povezivanje padova treba vršiti rutiranjem jedne linije, po potrebi izlomljene, a ne rutiranjem većeg broja međusobno nastavljenih linija.**
- **Ne preporučuje se rutiranje više od jedne linije između padova sa rasterom od 100 hiljaditih. Pri rutiranju između padova po potrebi vršiti sužavanje linija.**
- **Prelaz između slojeva za linije sa velikim strujama vrši se postavljanjem nekoliko vija.**
- **Linije napajanja su često kritične, pa u tom slučaju treba prvo njih rutirati. Voditi računa da njihova širina bude dovoljna. Preporučuje se da budu bliske, čime se smanjuje parazitna induktivnost i olakšava premošćavanje.**
- **Ne treba ostavljati izolovane bakarne površine, već ih treba vezati na masu.**

**Ukoliko se projektuje dvoslojna ploča bez metalizacije otvora, pri projektovanju treba voditi računa o činjenici da se pri montaži ovakve ploče vrši obostrano lemljenje kratkospajача provučениh kroz otvore vija. Stoga se pri projektovanju ovakvih ploča vodi računa i o sledećim merama:**

- Vije se ne postavljaju ispod komponenata, da bi bile dostupne za lemljenje (popravku) kratkospajача i после lemljenja komponenata, kao i da lem kratkospajача ne bi ometao pravilnu montažu komponenata**
- Gde god je moguće, za kratkospajanje slojeva koriste se pinovi komponenata, čime se smanjuje potreban broj vija i lemljenja kratkospajача kroz njih; dakle, smanjuje se cena proizvodnje i povećava pouzdanost ploče .**

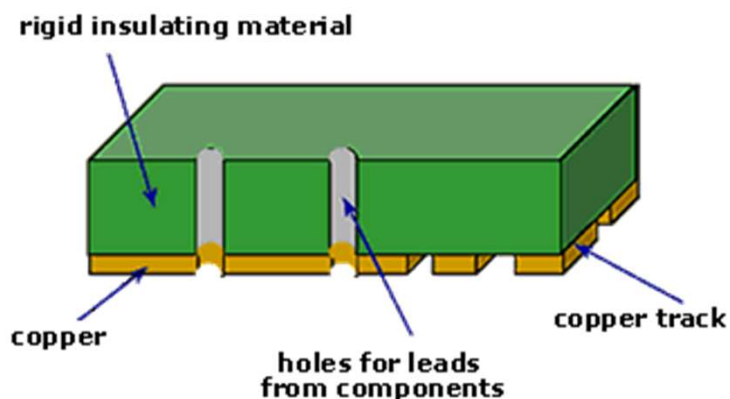
## ZAVRŠNI DETALJI

- **Kada je na uskim linijama ostvaren T spoj, preporučuje se dodavanje zakošenja na spoj kako bi se eliminisali uglovi od 90° i time povećala pouzdanost spoja i otklonili eventualni problemi pri nagrivanju bakra.**
- **Proveriti da li su isprojektovani potrebni otvori za montažu i da li je površina oko otvora i eventualnih podložki oslobođena od komponenata i linija.**
- **Smanjiti broj različitih prečnika otvora koliko je moguće, povećanjem nekih prečnika na blisku veću vrednost.**
- **Proveriti ispravnost izbora prečnika otvora. Greškom usvojen suviše mali prečnik otvora može da bude vrlo problematičan, naročito kod ploča sa metalizovanim otvorima.**
- **Proveriti da li su sve vije identične i sa potrebnim odnosom prečnika pada i otvora.**
- **Proveriti da su komponente dovoljno međusobno udaljene, naročito ako imaju metalne delove kućišta.**
- **Po želji dodati “teardrops” na padove i vije, čime se povećava pouzdanost**



## JEDNOSTRANE ŠTAMPANE PLOČE

Zbog znatno niže cene proizvodnje, jednostrane štampane ploče se koriste kada složenost rutiranja ne zahteva dvoslojne ili višeslojne ploče. Projektovanje ovakvih ploča zahteva znatno više truda i veštine, a uspešnost projekta se vrednuje obrnuto proporcionalno broju upotrebljenih kratkospajача kojima se rešava problem ukrštanja linija. Raspoređivanje komponenata na ploči je od presudnog značaja i podređuje se olakšanom rutiranju odnosno smanjenju broja kratkospajача, a manje se vodi računa o izgledu ploče. Projektovanje jednostrane štampane ploče može da se završi relativno jednostavno i brzo ako se projektuje kao dvostrana, sa pravim linijama na gornjem sloju koje se pri montaži ploče zamenjuju kratkospajачima. Međutim, zbog velikog broja kratkospajача ovakav pristup se ne smatra profesionalnim.

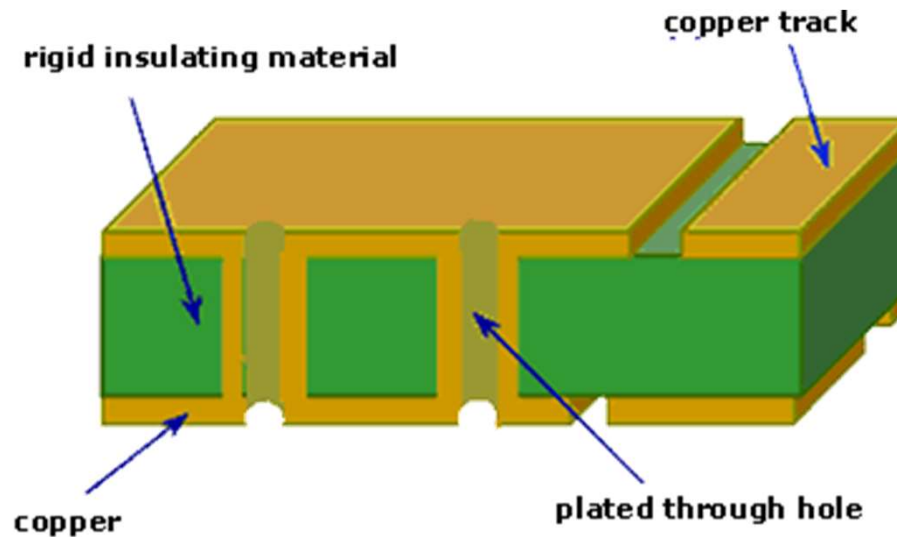




## DVOSTRANE ŠTAMPANE PLOČE

U poređenju sa jednostranim štampanim pločama, dodatni sloj u velikoj meri olakšava probleme raspoređivanja komponenata i rutiranja. Međutim, neprofesionalno je iskoristiti ga tako što će se komponente proizvoljno rasporediti a zatim linije rutirati na jednom sloju horizontalno a na drugom vertikalno, sa velikim brojem vija neophodnih za ovakvo rutiranje.

Raspoređivanju komponenata i rutiranju treba i u ovom slučaju posvetiti maksimalnu pažnju, a dodatni sloj iskoristiti za rutiranje bez kratkospajča i sa malim brojem vija, a po mogućstvu i za formiranje površina za masu koje su neophodne u projektovanju kola za visoke učestanosti.



## **OSTALI SLOJEVI**

**Pored slojeva sa bakarnim linijama i provodnicima, na štampanoj ploči postoje dodatni slojevi.**

### **SLOJ KOMPONENATA**

**Sloj komponenata (“silkscreen”, “component overlay” ili “component layer”) predstavlja štampani sloj koji se nanosi na gornju a po potrebi i na donju površinu ploče sito-štamptom. Sadrži konture komponenata, oznake komponenata i slobodni tekst. U retkim slučajevima sadrži i vrednosti komponenata. Sloj komponenata je najčešće bele boje, iako se po želji mogu koristiti i druge boje. Sve oznake komponenata na ploči treba da imaju istu orijentaciju i istu veličinu karaktera.**

**Kada se u editoru komponenata pravi komponenta koja nije na raspolaganju u bibliotekama, potrebno je nacrtati i konturu komponente prema njenim realnim dimenzijama, da bi se pri raspoređivanju komponenata lakše mogla proceniti stvarna gustina rasporeda. Pri crtanju kontura treba voditi računa o oznakama polarizovanih komponenata (diode, el. kondenzatori, ...), kao i o označavanju pina br. 1. Sadržaj ovog sloja ne sme da pokriva padove. Sadržaj se na ploču ne nanosi precizno kao bakarni slojevi.**

## **MASKA ZA LEMLJENJE**

**Maska za lemljenje (“solder mask”) je sintetička prevlaka koja sprečava da lem premosti susedne pinove, što je od posebnog značaja za SMD komponente i generalno za komponente sa malim razmakom pinova. Bez intervencije projektanta, maska prekriva sve sem padova i vija, uz zadatu marginu od nekoliko hiljaditih koja se naziva ekspanzijom maske. Po želji projektanta maska za lemljenje može da pokriva i vije. U PCB editoru se prikazuje negativ ovog sloja, pa postavljanje linija ili poligona na ovom negativu generiše površine koje neće biti pokrivene maskom (što eventualno može da se uradi na nekom malom delu ploče ne kojem nema padova, vija i bakarnih linija). Maska za lemljenje je obično zelene boje.**

## **“MEHANIČKI” SLOJ**

**U “mehaničkom” sloju se crta kontura štampane ploče, a daju se i drugi podaci za proizvodnju. Ovaj sloj nije deo projekta same ploče, već sadrži instrukcije za proizvođača ploče.**

## **“KEEPOUT” SLOJ**

**Keepout sloj služi za određivanje površina ploče na kojima ne mogu da se rutiraju linije. Ove površine obično se postavljaju na otvore za montažu, visokonaponske komponente i sl. Neophodne su ako se koristi autoruter.**

## **POZICIONIRANJE SLOJEVA**

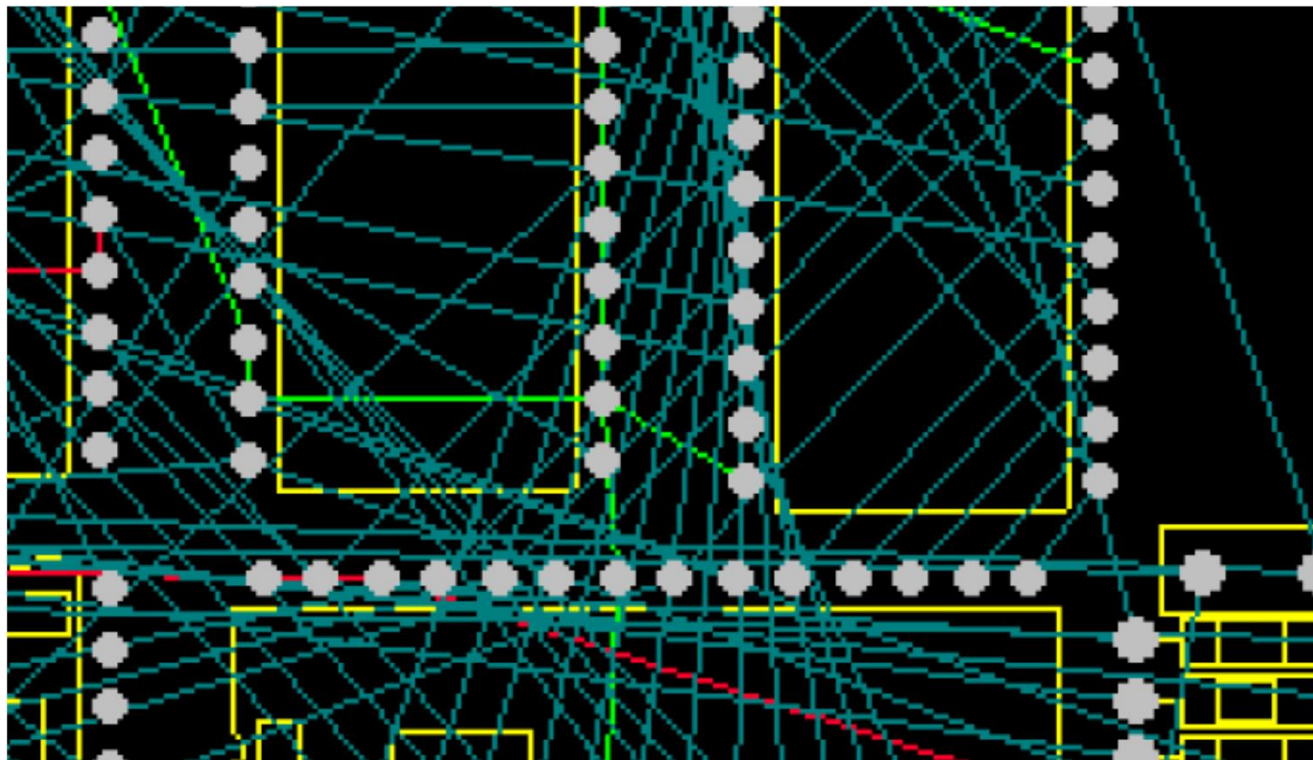
**Tokom projektovanja uvek treba voditi računa o tolerancijama pozicioniranja slojeva koje proizvođač ploče može da ostvari. Suviše male tolerancije poskupljuju proizvodnju ili smanjuju pouzdanost proizvedene ploče.**

## **LISTE POVEZANOSTI**

**Liste povezanosti (“netlists”) sastoje se od liste povezivanja priključaka komponenata, liste komponenata, oznaka komponenata, njihovih “otisaka” (“footprints”) i drugih informacija vezanih za uređaj koji se projektuje. Najčešće se generišu komandom editora električne šeme i predstavljaju fajl sa ulaznim informacijama za layout editor. Liste povezanosti predstavljaju osnovu za različite funkcije layout editora, kao što su autorutiranje, DRC, prikazivanje povezanosti komponenata itd.**

## “RATS NEST”

“Rats nest” predstavlja prikaz povezanosti priključaka komponenata u vidu pravih linija između priključaka. Gustina, dužina i položaj ovih linija su od velike pomoći projektantu štampane ploče, kako u fazi raspoređivanja komponenata tako i tokom rutiranja. Značaj ovog prikaza je naročito velik kada se projektuje kompleksna ploča sa velikim brojem komponenata. Tokom rutiranja, ”rats nest” prikazuje nerutirane veze koje treba rutirati.



## **DRC**

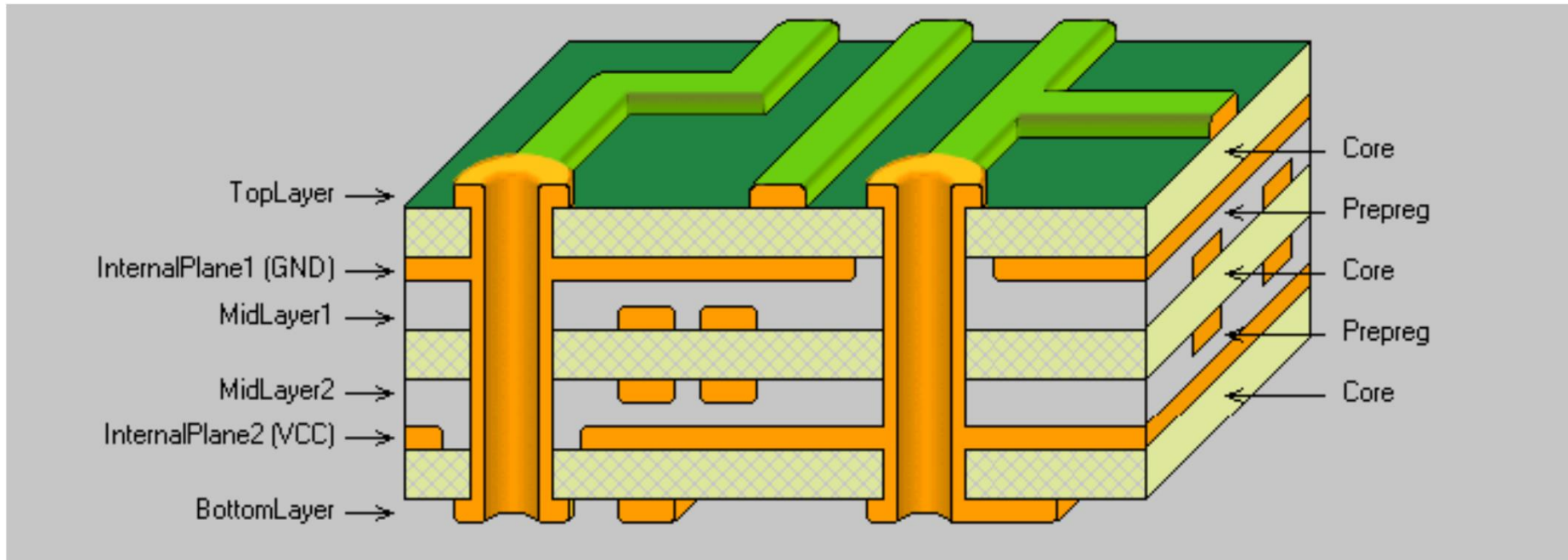
**DRC automatski proverava ispravnost povezanosti, minimalna rastojanja i druge proizvodne zahteve kao što su minimalne i maksimalne vrednosti prečnika otvora, vija, širina linija itd. DRC provera može da se vrši po završetku projektovanja, ali većina layout editora omogućava stalnu proveru tokom celog procesa projektovanja.**

## **ANOTACIJA UNAPRED I UNAZAD**

**Anotacija predstavlja usklađivanje električne šeme i PCB layout-a na osnovu njihovih lista povezanosti. Kada se unese izmena u električnoj šemi, koristeći anotaciju unapred može se izvršiti automatsko usklađivanje (unošenjem izmena) u PCB layout-u. Primenom anotacije unazad usklađuje se električna šema sa malim izmenama unetim u PCB layout-u. Zavisno od kvaliteta softverskog paketa, usklađivanje zahteva više ili manje intervencija korisnika u cilju doterivanja izvršenih izmena (npr. brisanje linija koje su ostale nepovezane itd.)**

# VIŠESLOJNE PLOČE

Višeslojne ploče su znatno skuplje i teže za proizvodnju od jednoslojnih i dvoslojnih, ali omogućavaju mnogo kompaktnije projektovanje sa većom gustinom komponenata, zahvaljujući dodatnim slojevima za rutiranje unutar ploče. Proizvode se po pravilu sa parnim brojem slojeva. Kod višeslojnih ploča obično se jedan sloj namenjuje za površinu mase i jedan sloj za napajanje. Ova dva sloja su obično u sredini ploče, pri čemu je sloj za masu bliži gornjoj površini ploče.



**Kod višeslojnih ploča postoje tri tipa vija: standardne, slepe i ukopane. Standardne imaju otvor probušen kroz sve slojeve, pa mogu da povežu bilo koje slojeve. Otvor slepe vije je probušen od jednog od spoljašnjih slojeva do nekog od unutrašnjih slojeva. Ukopane vije povezuju nekoliko unutrašnjih slojeva, ali ni jedan od spoljašnjih. Druga dva tipa su skuplja od standardnih, ali su veoma korisni u projektovanju ploča velike gustine.**

## **POVRŠINE ZA NAPAЈANJE**

**Primena površina za napajanje na zasebnim slojevima smanjuje impedansu izvora za napajanje komponenata. Ukoliko se projektuje samo jedna površina za napajanje, onda to treba da bude masa, pošto je to referentna tačka kola i trebalo bi da bude na istom potencijalu za sve komponente na ploči. Neki layout editorii imaju slojeve namenjene isključivo za površine za napajanje, kod kojih se rutiranjem linija određuje površina sa koje će biti uklonjen bakar. To se primenjuje npr za razdvajanje analogne i digitalne mase. Pri tome treba voditi računa da se površine za napajanje ne zatvore u petlju. Linije se postavljaju i po ivici ploče na slojevima namenjenim za površine za napajanje, kako pri proizvodnji ili kasnijoj upotrebi ploče ne bi došlo do kratkospajanja.**



## MASE

**Dobro izvođenje masa je ključno za uspešno projektovanje layout-a.**

**Ukoliko nije na raspolaganju sloj za površinu mase, linije mase treba da budu što šire u cilju smanjenja impedanse.**

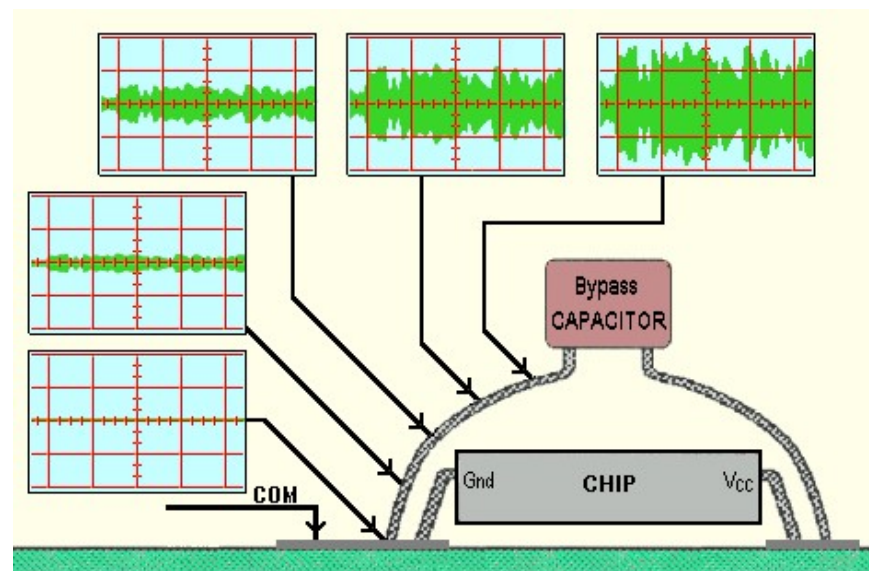
**Ako je ploča višeslojna, prvi unutrašnji sloj ispod gornje površine treba nameniti za površinu mase.**

**Delovi kola, a naročito kritični blokovi, treba da budu spojeni sa glavnim filtarskim kondenzatorom izvora za napajanje zasebnim linijama, da bi se razdvojile struje i šumovi susednih blokova (zvezdasta masa).**

**Ukoliko se koristi površina mase, treba je izdeliti linijama u cilju ostvarivanja zvezdaste mase.**

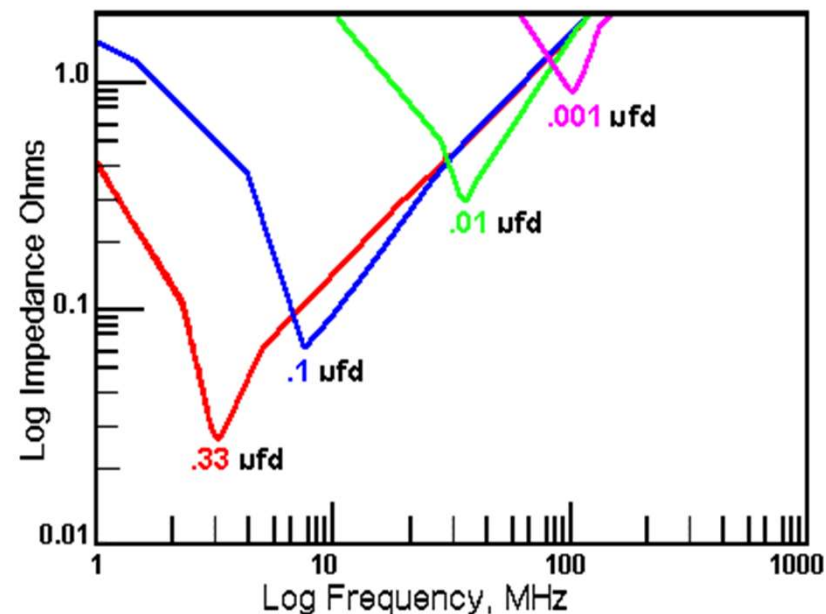
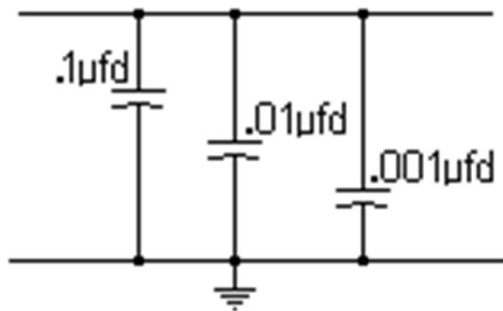
**Odgovarajuće tačke na blokovima povezati direktno za površinu mase, bez nepotrebno dugačkih linija.**

**Upotrebiti višestruke vije do površine mase u cilju smanjenja impedanse.**

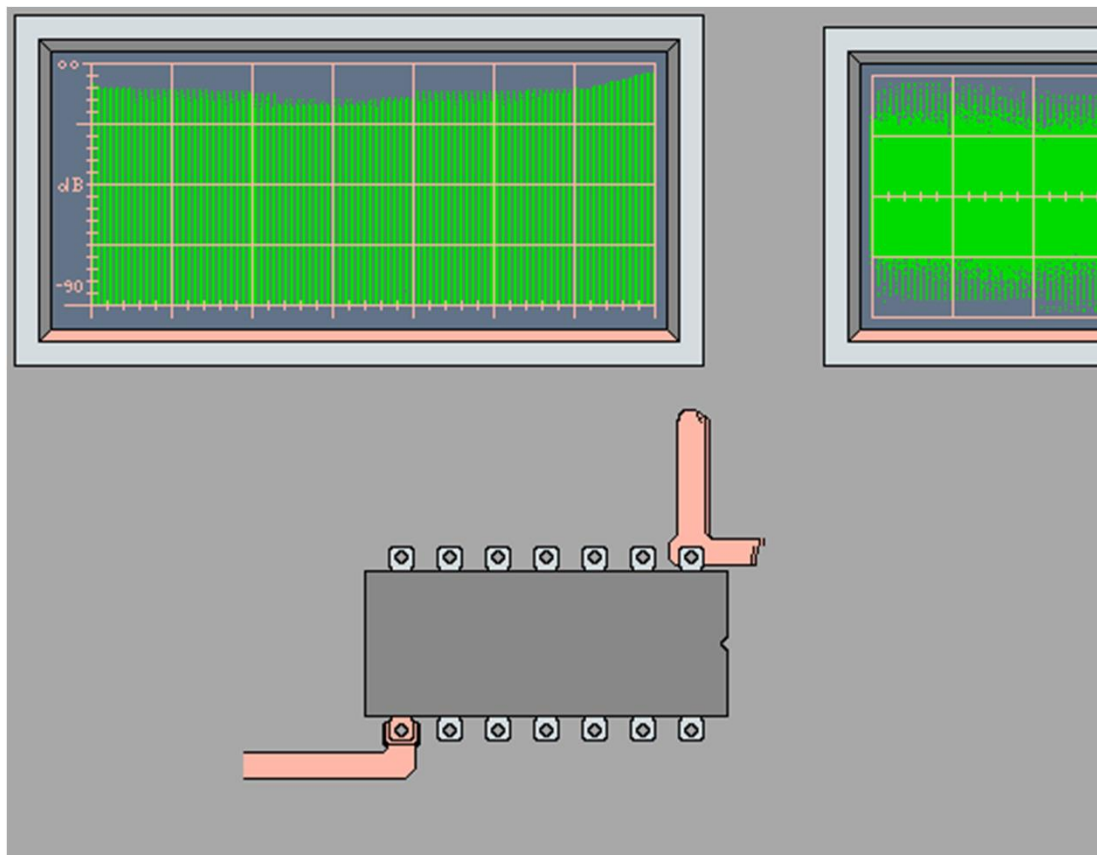


## PREMOŠĆAVANJE (BYPASSING)

Premošćavanje se vrši na aktivnim komponentama, naročito ako im je struja napajanja impulsnog oblika. Premošćavanjem se smanjuje impedansa izvora iz kojeg se komponenta napaja, čime se obezbedjuje manja promena napona izvora. Premošćavanje se realizuje dodavanjem kondenzatora na priključke za napajanje komponente, paralelno sa izvorom. Tipična kapacitivnost kondenzatora za premošćavanje je 100 nF, a koriste se i 1nF ili 10 nF za visoke učestanosti, kao i 1  $\mu$ F ili 10  $\mu$ F za niske učestanosti. U cilju pokrivanja širog opsega učestanosti, ponekad se priključuju 2 ili tri kondenzatora paralelno (npr. 100 nF, 1nF i 10  $\mu$ F).



**Kondenzatori za premoščavanje moraju na štampanoj ploči da budu postavljeni što bliže priključcima za napajanje komponente.**

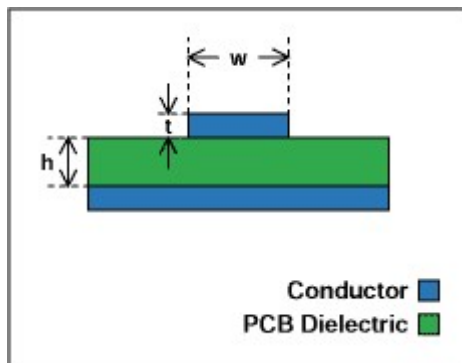


## TEHNIKE PROJEKTOVANJA ZA VISOKE UČESTANOSTI

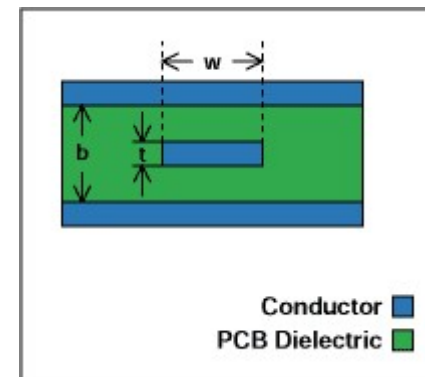
Pri projektovanju štampanih ploča za visoke učestanosti signala mora se voditi računa da je brzina prostiranja signala duž linija po ploči jednaka brzini prostiranja elektromagnetnih talasa:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0 \mu_r}} = \frac{300000 \text{ km/s}}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{30}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ cm/ns}$$

Za standardne materijale za štampane ploče je  $\epsilon_r \cong 4$ , pa je  $v \cong 15 \text{ cm/ns}$ . Prema tome, za učestanosti preko 1 GHz linija na štampanoj ploči se zajedno sa masom ponaša kao vod, a linija mase ne predstavlja čvor na referentnom potencijalu nego povratnu putanju signala voda. Projektovanjem se podešava da ovi vodovi na štampanoj ploči imaju željenu vrednost karakteristične impedanse. Osnovni tipovi ovakvih vodova su microstrip i stripline:



Stripline →  
ima manje zračenje  
ali zahteva dve  
površine mase



## **DVOSTRANA MONTAŽA KOMPONENATA**

**Štampane ploče sa komponentama montiranim sa obe strane se sve češće koriste. Dvostrana montaža omogućava veću gustinu komponenata kao i kraće linije (neophodne za signale visokih učestanosti kao i za smanjenje smetnji). Ponekad se na donju stranu ploče montiraju samo kondenzatori za premošćavanje, kako bi linije koje ih povezuju bile što kraće.**

## **KORIŠĆENJE AUTORUTERA**

**Rutiranje linija na ploči autoruterom generalno daje loš rezultat, iako drastično štedi vreme. Stoga se preporučuje selektivno korišćenje autorutera za manje blokove, naročito za spore nekritične signale. Kvalitetni autoruteri omogućavaju korisniku veliku kontrolu načina autorutiranja, međutim, detaljno specificiranje svih ograničenja i to pojedinačno po linijama odnosno čvorovima, često u velikoj meri poništava uštedu vremena koju autorutiranje pruža.**

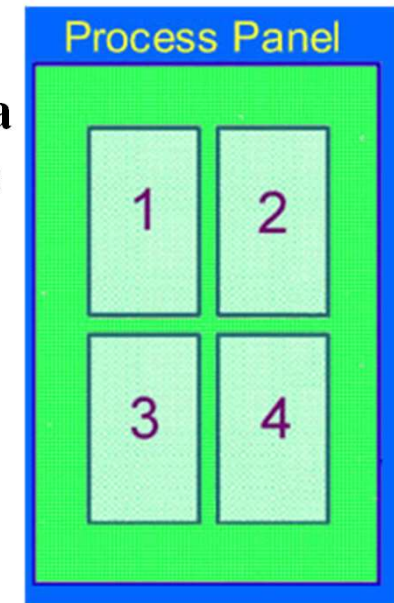
## **KORIŠĆENJE AUTOMATSKOG POSTAVLJANJA KOMPONENATA**

**Automatsko postavljanje komponenata po pravilu daje neupotrebljiv rezultat.**

# PROJEKTOVANJE ZA PROIZVODNJU

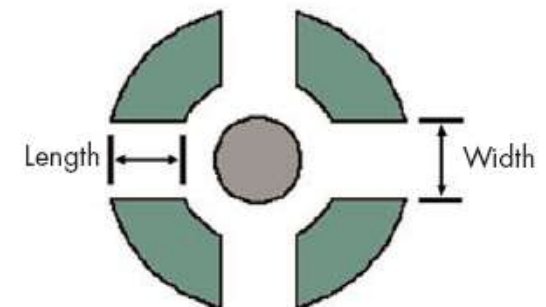
## PANELIZACIJA

Panelizacija predstavlja slaganje većeg broja kopija layouta na veliki “panel” sa ciljem istovremene proizvodnje, što smanjuje troškove serijske proizvodnje pošto štedi vreme potrebno za pozicioniranje, kako u proizvodnji samih štampanih ploča tako i pri automatskoj montaži komponenata. Pri panelizaciji moraju da se ostavljaju razmaci između kopija, sa oznakama za sečenje. Paneli obično u uglovima imaju otvore za automatsko rukovanje (prečnika 2,4 mm ili 3,2 mm). Pored toga, na panel se stavljaju i tri repera za pozicioniranje.



## TERMIČKO IZDVAJANJE

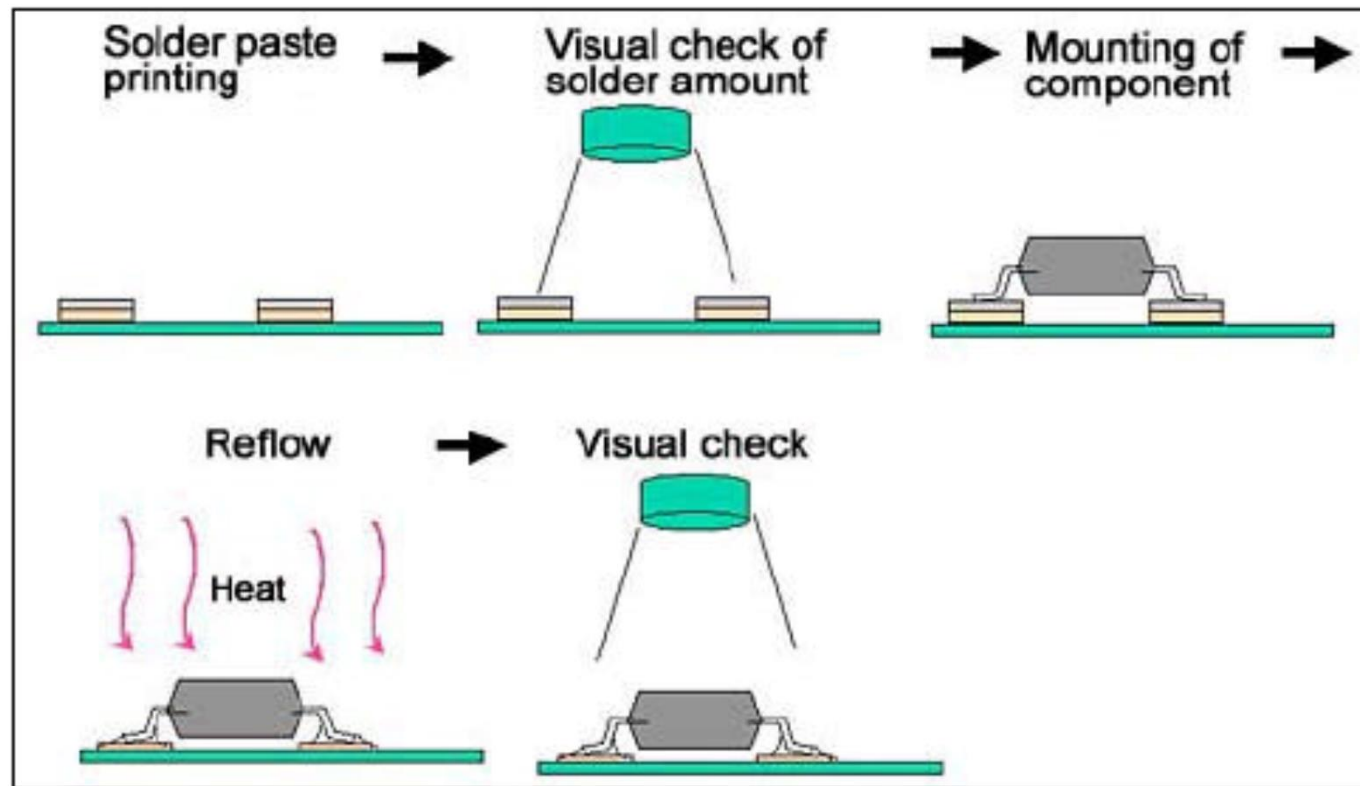
Padove ne treba direktno spajati sa velikim površinama bakra, pošto se u tom slučaju zbog velike termičke provodnosti povećava mogućnost stvaranja “hladnih leмова”. Stoga se padovi izdvajaju iz bakarne površine, sa kojom ih obično spajaju samo četiri tanke linije.



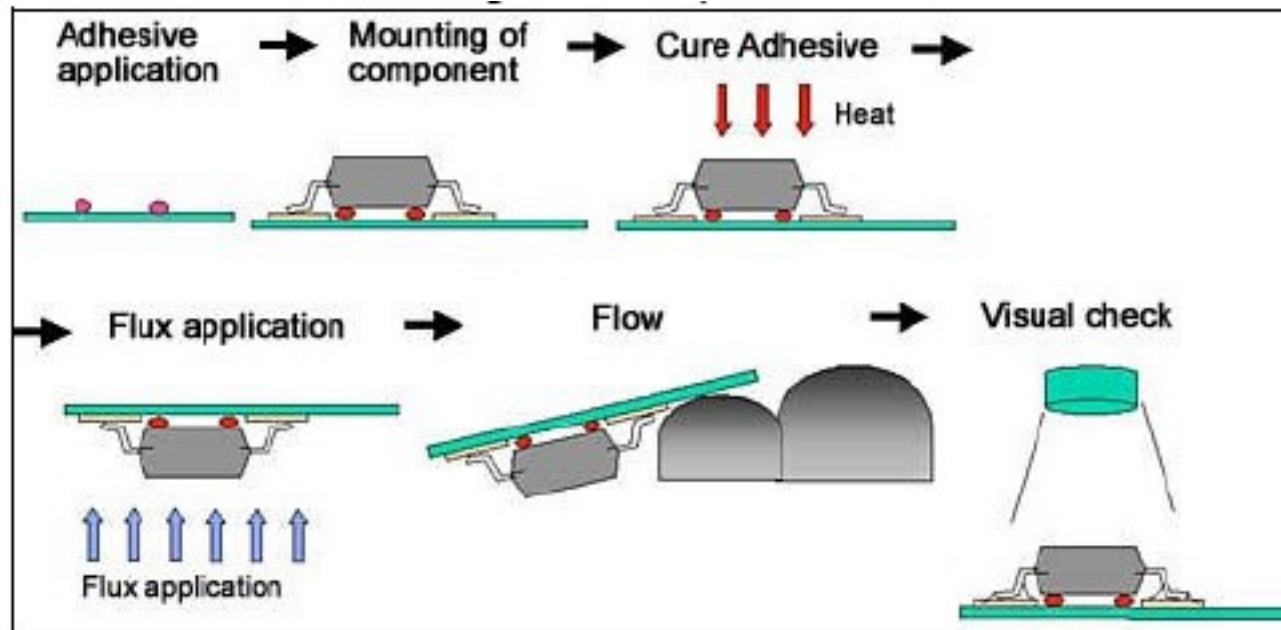
## FORMAT FAJLOVA ZA PROIZVODNJU

Većina proizvođača prihvata standardne layout fajlove poznatijih softvera za PCB layout. Alternativno se može poslati “gerber” fajl za svaki sloj zasebno.

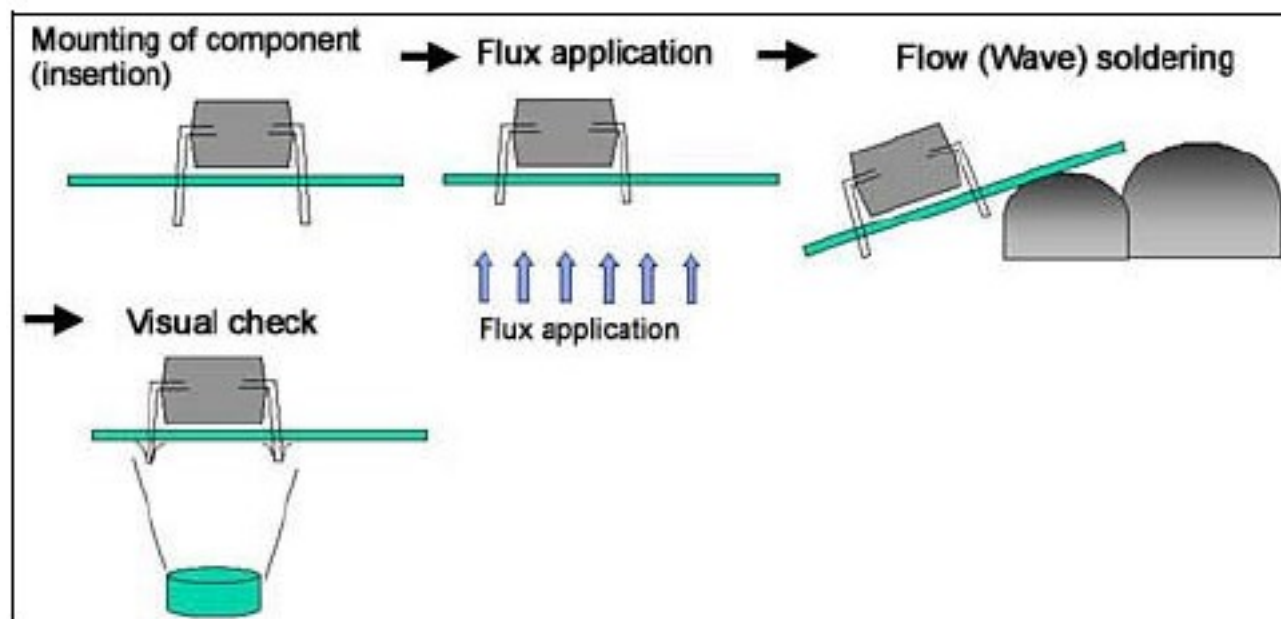
## LEMLJENJE



SMD Reflow Soldering



SMD Wave Soldering



Through-hole Wave Soldering