

# آموزش طراحی برد مدار چاپی (PCB)

تهیه و تنظیم: امیرعلی دوستی

A.A.Doosti@gmail.com

## فهرست مطالب

۱	مقدمه
۲	در گذشته
۲	نرم افزارهای طراحی PCB
۲	استانداردها
۳	شماتیک
۴	امپریال و متریک
۶	کار روی شبکه (گریدها)
۷	کار از نمای بالا
۷	مسیرها (تراک ها)
۹	جایپه ها
۱۰	وایا (میانبرها)
۱۱	پولیگون (چندضلعی ها)
۱۱	فاصله گذاری
۱۳	چیدمان قطعات و طراحی
۱۵	روتینگ (مسیریابی) اصلی
۱۸	اتمام اتصالها
۱۹	طرح یک سویه
۲۰	طرح دوسویه
۲۱	سایر لایه ها
۲۱	صفحه سیلک
۲۲	ماسک لحیم
۲۲	لایه مکانیکی
۲۳	لایه محافظتی
۲۳	تراز لایه ها
۲۳	نت لیست
۲۴	نمایشگر لانه موشی
۲۵	چک کردن قانون طراحی

۲۵	نامگذاری مستقیم و معکوس
۲۶	طراحی چندلایه
۲۷	صفحات پاور
۲۸	ایجاد زمین خوب
۲۹	بای پس خوب
۳۰	تکنیکهای طراحی فرکانس بالا
۳۱	بارگذاری دوسویه
۳۲	مسیریابی خودکار
۳۳	چیدمان خودکار
۳۳	<b>طراحی برای تولید</b>
۳۳	پانلیزاسیون
۳۴	نوارهای تجهیز
۳۴	نشانهای اطمینان
۳۵	آزادسازی گرمایی
۳۵	لحیم کاری
۳۷	ساخت برد مدار چاپی اصلی
۳۸	اتمام سطوح
۳۸	تست الکتریکی
۳۸	امضاء
۳۹	تحويل طرح برای ساخت

## مقدمه

حتما مدارتان را طراحی کرده‌اید، و شاید حتی نمونه ابتدایی PCB خود را نیز ساخته‌اید، و حال زمان آن رسیده است که آنرا به طراحی یک برد مدار چاپی (PCB)<sup>1</sup> تمیز تبدیل کنید. برای برخی طراحان، طرح PCB تنها بسط طبیعی و راحت طراحی اولیه است. اما برای بسیاری دیگر فرایند طراحی و پیاده‌سازی یک PCB می‌تواند امری بسیار ترسناک بنظر بیاید. حتی طراحان بسیار مجربی هستند که چیز زیادی از طراحی PCB نمی‌دانند و به همین دلیل این کار را به متخصصان طراح PCB می‌سپارند. حتی بسیاری از شرکتهای بخش مخصوص طراحی برد مدارهای چاپی دارند که فقط به همین کار می‌پردازند. این امر با توجه به نیاز به دانش و استعداد بسیار در جایابی صدها قطعه و هزاران مسیر در طراحی بسیار پیچیده (و هنرمندانه) که بتواند جوابگوی تمام احتیاجات الکترونیکی و فیزیکی باشد، جای تعجب ندارد. طراحی مدار چاپی کامل، اغلب اوقات جزء لازم یک طراحی است. در بسیاری از طرحها (به عنوان مثال، دیجیتال پرسرعت، آنالوگ سطح پایین، و آر اف) آرایش/جانمایی مدار چاپی ممکن است به حصول یا اختلال عملکرد الکتریکی طرح بیانجامد. باید به یاد داشت که ترسیمات برد مدار چاپی، درست مانند مدارهایی که با آنها سروکار دارید، دارای مقاومت، مقاومت القایی، و ظرفیت خازنی (کاپاسیتانس) هستند.

امید است ارائه این مقاله برخی از رمز و رازهای طراحی مدارهای چاپی را از میان بردارد. در این مقاله راهنماییها و «قوانین سرانگشتی (کلی)» نحوه طراحی و آرایش مدارهای چاپی شما به شکلی حرفه‌ای ارائه می‌شود. در اینجا قوانین بسیار اساسی و تمرینات مفیدی پیش رو گذاشته می‌شود، ولی از آن گذشته طراحی مدارات چاپی فرایندی بسیار خلاقانه و فردی است. درست مانند این است که بخواهید به کسی آموزش دهید چطور نقاشی بکشد. هر فردی سبک ویژه خودش را خواهد داشت، و با این حال کسانی هم ممکن است بدون هیچ استعداد خلاقیت از آن استفاده ببرند.

در حقیقت، بسیاری از طراحان مدارات چاپی دوست دارند آرایش مدارهای چاپی را نوعی کار هنری بدانند، که بخاطر زیبایی و ظرافت در خور تحسین است. اصطلاحی قدیمی در این بین می‌گوید «هرچیز که ظاهر خوبی داشته باشد، خوب هم کار می‌کند».

پس بیایید شروع کنیم...

<sup>1</sup> PCB - منظور برد مدار چاپی است که آنرا به برد مدار چاپی هم ترجمه کرده‌اند. در اینجا از عبارت مصطلح میان طراحان یعنی همان PCB یا مدار چاپی استفاده می‌کنم (مترجم).

## در گذشته

در روزگاران پیش از ابزارهای طراحی به کمک کامپیوتر CAD مدارهای چاپی توسط دست و با استفاده از نوارها و سطوح چسبیده به ورقهای طراحی (drafting) شفاف فیلم طراحی و آرایش داده می‌شدند. ساعات بسیاری صرف خم شدن بر روی باکس فلورسنت، برش، جاسازی، جدا کردن، و روتینگ اتصالات توسط دست می‌شد. گرافیک بیشاپ، لتراست، و حتی قلمهای دالو نامهایی هستند که خاطرات دور و نه چندان شیرین را یادآوری می‌کنند. آن روزها دیگر برای همیشه رفته‌اند، و طراحی کامپیوتری برد مدارهای چاپی کاملاً جای این روش را در هر دو سطح الکترونیک ترفنی و حرفه‌ای گرفته است. برنامه‌های کد تحت کامپیوتر در مقایسه با تکنیکهای سنتی بیشترین امکان انعطاف‌پذیری را در طراحی برد و ویرایش آن در اختیار می‌گذارند. کاری که در گذشته ساعتها زمان می‌برد، امروزه در چند ثانیه قابل وصول است.

## نرم افزارهای طراحی PCB<sup>2</sup>

بسته‌های نرم‌افزاری بسیاری درباره طراحی مدارات چاپی در بازار موجود است، که بسیاری از آنها را نرم‌افزارهای رایگان، اشتراک‌افزار، و یا نسخه‌های کامل با محدودیت اجزاء تشکیل می‌دهند. در استرالیا پروتل عملاً نرم‌افزار استاندارد صنعتی بشمار می‌رود. حرفه‌ایها از گرانترین بسته نرم‌افزارهای تحت ویندوز چون 99SE و DXP استفاده می‌کنند. اما استفاده‌کنندگان غیر حرفه‌ای و ترفنی بیشتر از نرم‌افزار عالی و رایگان پروتل اتوتکس تحت داس استفاده می‌کنند، که زمانی بهترین و گرانترین انتخاب در استرالیا بشمار می‌رفت. البته امروز نرم‌افزار تحت ویندوز دیگری هم با نام اتوتکس EDA وجود دارد که هیچ ارتباطی هم با نرم‌افزار پروتل ندارد.

این مقاله بر روی نحوه استفاده هیچ نرم‌افزار خاصی تمرکز ندارد، و بنابراین اطلاعات داده شده قابل کاربرد با هر نرم‌افزار طراحی مدار چاپی موجود است. با این وجود، یک استثنا وجود دارد. استفاده از یک نرم‌افزار صرفاً برد مدار چاپی که قابلیت شماتیک ندارد، توان شما را در سطح حرفه‌ای بسیار پایین می‌آورد. بسیاری از تکنیکهای پیشرفته‌تر که در آینده توضیح داده خواهند شد نیز نیازمند دسترسی به برنامه ویرایش شماتیک دارند. در جای خود به این نکته هم خواهیم پرداخت.

## استانداردها<sup>3</sup>

تقریباً برای هر جنبه از طراحی مدار چاپی استانداردهای صنعتی خاصی وجود دارد. این استانداردها توسط مؤسسه پیشین IPEC (اتصال/هماهنگی و بسته‌بندی مدارهای الکترونیکی) که امروزه با نام IPC شناخته می‌شود، کنترل می‌شوند<sup>4</sup>. همچنین، برای هر جنبه از طراحی، ساخت، تست و هر چیز دیگر مورد نیاز در خصوص برد مدار چاپی یک استاندارد IPC وجود دارد. مدرک اصلی که تمام طراحی مدار چاپی را تحت پوشش می‌گیرد، IPC-

<sup>2</sup> PCB Packages

<sup>3</sup> Standards

<sup>4</sup> www.ipc.org

2221 است - استاندارد جامع طراحی برد چاپی. این استاندارد جایگزین استاندارد قدیمی IPC-D-275 شد (همچنین استاندارد ۲۷۵ نظامی) که در نیم قرن گذشته بکار گرفته می‌شد.

البته کشورهای محلی استانداردهای مختلف خودشان را برای جنبه‌های مختلف برد مدار چاپی و ساخت آن دارند، اما به هر طریق استانداردهای IPC در سراسر جهان مورد پذیرش عام قرار دارند.

بردهای مدار چاپی همچنین با نام بردهای سیم‌کشی چاپی (که برخی ممکن است بگویند نام درست تری است)، و حتی همان بردهای چاپی شناخته می‌شوند. اما در این مقاله به همان نام جاافتاده‌تر آن یعنی برد مدار چاپی بسنده می‌کنیم.

## شماتیک<sup>۵</sup>

پیش از آنکه شروع به آرایش برد مدار چاپی خود کنید، می‌بایست که نمودار شماتیک کامل و دقیقی داشته باشید. بسیاری از مردم مستقیماً به سراغ طراحی برد مدار چاپی می‌روند درحالی‌که چیزی بیش از طرح مدار در ذهنشان ندارند، یا طرح شماتیکی غیردقیق کشیده‌اند - که نه شماره پایه و نه ترتیب مشخصی دارد. چنین طرحی اصلاً کفایت نمی‌کند، اگر طرح شماتیک دقیقی نداشته باشید برد مدار چاپی شما به جایی نمی‌رسد و وقت شما را دوبرابر زمان مورد نیاز خواهد گرفت.

«ورودی غلط، نتیجه غلط»<sup>۶</sup>، مثلی است که بسیار بکار می‌رود و در مورد طراحی مدار چاپی هم صدق می‌کند. طرح یک برد مدار چاپی در واقع نسخه ساخته شده شماتیک شماست، پس طبیعی است که برد مدار چاپی تحت تاثیر طرح شماتیک اولیه باشد. اگر طرح شماتیک شما تمیز، منطقی و دارای آرایش مشخص باشد، طراحی مدار چاپی شما را واقعا ساده‌تر می‌کند. یک نمونه شماتیک خوب آن است که در آن سیگنالها از ورودی در چپ بسمت خروجی در راست جریان داشته باشد. اگر بخشهای مهم الکتریکی درست کشیده شوند، طراح بقیه آنها را به همان شکل که دوست دارد روی برد مدار چاپی پیاده می‌کند. مثلاً خازنهای انشعابی را در کنار قطعات مورد نظر می‌گذارد. نوشته‌های کوچک کنار شماتیک که راهنمای طراحی آرایه‌ها هستند بسیار مفیدند. بعنوان مثال، می‌خوانید: «این پایه به یک مسیر محافظ احتیاج دارد که آنرا به زمین سیگنال وصل کند»، که به طراح نشان می‌دهد چه اقدامات احتیاطی برای آرایش برد باید صورت دهد. حتی اگر خود شما مدار را طراحی کرده و شماتیک را کشیده‌اید، نوشته‌ها نه تنها به هنگام آرایش برد نقش یادآوری را بازی می‌کنند، بلکه برای کسانی که طرح را بعدها بررسی می‌کنند بسیار مفید است.

شماتیک شما باید درحالی طراحی شود که برد مدار چاپی را در ذهن مجسم کرده‌اید.

<sup>5</sup> The Schematic

<sup>6</sup> "Garbage-in, garbage out"

اصطلاحی است به این معنی که اگر به برنامه اطلاعات ورودی نادرست داده شود، برنامه نتایج بیهوده‌ای را به عنوان خروجی تولید خواهد کرد.

پرداختن به جزئیات یک طرح شماتیک خوب خارج از حوزه این مقاله است، که خود نیازمند یک مقاله جداگانه است.

## امپریال و متریک<sup>۷</sup>

اولین چیزی که درباره طراحی یک برد مدار چاپی باید بدانید واحدهای اندازه‌گیری بکار رفته و اصطلاحات رایج آنهاست، که اگر ندانید براستی گمراه کننده می‌شوند!

همانطور که هر طراح مدار چاپی باتجربه به شما خواهد گفت، همیشه در طراحی برد مدار چاپی باید از واحدهای امپریال<sup>۸</sup> (مثل اینچ) استفاده کنید. این فقط بخاطر حفظ روش گذشته نیست (اگرچه که یکی از مهمترین دلایل هم هست!) چون اکثریت اجزای الکترونیکی در گذشته و نیز در حال حاضر بر اساس معیارهای فضایی امپریال تولید می‌شوند. بنابراین زمان لجبازی یا اصرار بر حفظ واحدهای متریک نیست، چراکه استفاده از واحدهای متریک طراحی برد شما را دشوارتر و درهم‌ریخته می‌کند. اگر سن کمی دارید و تنها بر اساس سیستم متریک بزرگ شده‌اید بهتر است واحد اینچ و نحوه تبدیل آن را یاد بگیرید.

اصطلاح قدیمی بین طراحان مدار چاپی هست که می‌گویند: «داو با داو کار می‌کنه»!<sup>۹</sup> خب معلوم است که تا معنی «داو» را ندانید از این جمله هیچ نمی‌فهمید.

یک «داو» معادل یک هزارم اینچ است، و در سطح جهانی برای طراحان مدار چاپی و تولیدکنندگان آن شناخته شده و رایج است. پس از این به بعد سعی کنید اصطلاحاتی چون «فضای ده داوی»<sup>۱۰</sup> و «شبکه ۲۵ داوی»<sup>۱۱</sup> را بکار ببرید تا حرفه‌ای جلوه کنید!

حال که معنی «داو» را فهمیدید، به واحد وجبی! دیگری می‌پردازیم که در کار با اصطلاح «میل»<sup>۱۲</sup> بدان برمی‌خورید. یک «میل» معادل همان یک «داو» است و نباید آنرا با واحد میلی‌متر mm اشتباه گرفت که در محاوره به آن هم «میل» می‌گویند. اصطلاح «میل» از آنجا می‌آید که یک «داو» معادل یک «میلی اینچ» است. بعنوان یک قانون کلی بهتر است از بکاربردن اصطلاح «میل» خودداری و از همان «داو» استفاده کنید، تا وقتی درباره ابعاد برد مدار چاپی با غیر حرفه‌ایها و ناآشنایان با سیستم امپریال صحبت می‌کنید اشتباهی پیش نیاید.

برخی طراحان مدار چاپی به شما خواهند گفت اصلا در طراحی برد مدار چاپی از سیستم متریک میلی‌متر استفاده نکنید. گرچه در عمل، مجبور خواهید شد از هردو سیستم امپریال اینچ (داو) و متریک میلی‌متر بهره بگیرید. پس مهم بدانید از کدام سیستم برای چه استفاده می‌کنید. بطور کلی، از «داو»ها برای مسیرها، سطوح، فضا سازی‌ها و

<sup>7</sup> Imperial and Metric

<sup>8</sup> Imperial

واحد شاهنشاهی یا امپراطوری. منظور واحدهای استاندارد اروپایی (انگلیسی) است که از واحدهایی مثل اینچ و فوت استفاده می‌کنند و

با استاندارد جهانی مثل سانتی‌متر متفاوت است (مترجم).

<sup>9</sup> "thou shall work with thous"

<sup>10</sup> "10 thou space"

<sup>11</sup> "25 thou grid"

<sup>12</sup> "mill" (or "mills")

نمایش شبکه (گرید) استفاده کنید - که بخش اصلی نیازهای طراحی و آرایش شما هستند. از میلیمتر تنها برای نیازهای بخش «مکانیکی و تولید قطعات» مثل اندازه سوراخها و ابعاد برد استفاده کنید.

بزودی درخواهید یافت که بسیاری از سازندگان برد مدار چاپی نیز - زمانی که از شما می‌خواهند جزئیات برد را جهت ساخت ارائه دهید - همین راهبردهای اصلی را دنبال می‌کنند. بیشتر سازندگان از دریلهایی با اندازه متریک استفاده می‌کنند، و بنابراین تعیین سایز امپریل سوراخها برآستی می‌تواند از بروز اشتباه جلوگیری کند.

در میان پیچیدگیهای دیگر مسئله، اجزای بسیاری هستند (بعنوان مثال قطعات جدیدی که بر سطح سوار می‌شوند) که فضای پایه‌های آنها ابعاد متریک دارند. و بنابراین مجبور خواهید شد جایی برخی از اجزا را با استفاده از لایه‌ها و شبکه های متریک طراحی کنید. بسیاری از صفحات اطلاعات (دیتاشیت) قطعات ابعاد متریک قطعه را هم ارائه می‌دهند - حتی اگر حجم و فضای آن قطعه مناسب شبکه امپریال ساخته شده باشد. اگر به ابعاد متریک عجیب و غریبی مثل ۱،۲۷ میلیمتر برخوردید مطمئن باشید که این عدد معادل یک عدد رند امپریال است. مثلاً در همین مورد عدد ۱،۲۷ میلیمتر معادل ۵۰ داو است.

بله، طراحی برد مدار چاپی می‌تواند گیج کننده شود!

بنابراین و به هر ترتیب برای انجام هرکاری در طراحی برد مدار چاپی لازم است در تبدیل امپریال به متریک و به عکس حرفه‌ای شوید. اگرچه اگر بخواهید کارتان راحت‌تر شود، تمام نرم‌افزارهای اصلی پیش نویس مدار چاپی مجهز به یک «کلید فوری»<sup>۱۳</sup> هستند که آن‌ا اندازه‌های امپریال و متریک را به هم تبدیل می‌کند (مثلاً کلید Q در پروتل). البته اگر چند تبدیل کلیدی را به خاطر بسپارید به شما کمک بسیار خواهد کرد، مثلاً

۲/۵۴ میلیمتر = ۱۰۰ داو (۰/۱ اینچ)

۵/۰۸ میلیمتر = ۲۰۰ داو (۰/۲ اینچ)

مقادیر ارزشی ۱۰۰ و بالاتر معمولاً به جای داو با اینچ بیان می‌شوند. پس ۰/۲ بیشتر از ۲۰۰ داو مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به یک اینچ معمولاً یک «پیچ»<sup>۱۴</sup> هم می‌گویند. پس معمول است که با عبارتی مثل «۰/۱ اینچ پیچ»، یا بشکل ساده‌تر «۰/۱ پیچ» که در آن واحد اینچ مفروض است، مواجه شویم. از این واحد بیشتر برای فضادهی پایه‌های قطعات استفاده می‌شود.

۱۰۰ داو «نقطه مبنا»ی اصلی برای جنبه‌های مختلف طراحی برد مدار چاپی محسوب می‌شود، و چیدمان گسترده فضادهی‌های قطعات هادی معمولاً ضریب یا کسری از این واحد اصلی است. ۵۰ و ۲۰۰ داو از رایج‌ترین مقادیر هستند.

<sup>13</sup> Hot key

<sup>14</sup> Pitch

واحدی برای سنجش تعداد کاراکترها (حروف هم عرض) در هر اینچ افقی می‌باشد.



همگام با بقیه دنیا، استانداردهای IPC همگی بر مبنای متریک هستند، و تنها گهگاه به واحدهای امپریال اشاره دارند. با این وجود، چنین اقدامی صنعت برد مدار چاپی را هنوز تبدیل نکرده است. عادات قدیمی بسختی برچیده می شوند، و هنوز سیستم امپریال بر بسیاری از کاربردهای عملی سلطه دارد.

## کار روی شبکه (گریدها) ۱۵

دومین قانون اساسی طراحی برد مدار چاپی، و نیز قانونی که اکثر تازه کارها از آن غفلت می کنند، آرایش دهی برد بر روی یک شبکه ثابت است. به آن «شبکه قالب زنی» یا «اسنپ گرید» هم می گویند، چراکه مکان نما، قطعات و مسیرها همگی در موقعیتهای شبکه ای ثابت «قالب» می گیرند. البته هر اندازه شبکه ای قابل بکارگیری شما نیست، معمولاً شبکه ها درشت هستند. شبکه خانه های ۱۰۰ داوی یک شبکه خانه ای استاندارد برای طراحی سوراخهای اصلی است، درحالی که از شبکه ۵۰ داوی بیشتر بعنوان استاندارد کار روتینگ، مثل عبور دادن مسیرها از بین لایه های تماماً سوراخدار استفاده می شود. برای نتیجه کار بهتر می توانید از یک اسنپ گرید ۲۵ داوی و یا حتی کمتر هم استفاده کنید. بسیاری از طراحان بعنوان مثال بر سر ارزش گریدهای ۲۰ داوی در مقابل ۲۵ داوی اختلاف دارند. در عمل گرید ۲۵ داوی حتی مفیدتر هم هست چراکه به شما اجازه می دهد درست در وسط یک گرید ۵۰ داوی حرکت کنید.

پس چرا یک اسنپ گرید درشت اینقدر مهم است؟ اهمیت آن از آنروست که قطعاتتان را تمیز و قرینه نگه می دارد و از نظر زیبایی شناسی خوشایند است. البته فقط به خاطر زیبایی اش نیست، بلکه امکان ویرایشها، جابجایی ها و حرکتها و تراز مسیرها، قطعات و بلوکهای قطعات را در آینده که اندازه طرح و پیچیدگی آن بیشتر می شود، راحت تر می کند.

طرح آماتوری و بد برد مدار چاپی بسرعت قابل تشخیص است، چرا که بسیاری از مسیرها دقیقاً در وسط لایه ردیف نشده اند. از تکه های کوچک مسیرهای بسیاری اینجا و آنجا اضافه می شوند تا فاصله را پر کنند. این نتیجه استفاده موثر نکردن از شبکه اسنپ گرید است.

اما تمرین طرح یک برد مدار چاپی خوب شما را وامی دارد ابتدا با یک شبکه درشت ۵۰ داوی شروع کنید و سپس بتدریج هرچه طرحتان در فضا فشرده تر می شود به شبکه های قالب کوچکتر روی بیاورید. برای روتینگهای بهتر و جایابی تا ۲۵ داو و ۱۰ داو شبکه را ریز کنید. این به معنی ۹۹٪ کار طراحی برد است. مطمئن شوید که شبکه ریزتری که انتخاب کرده اید خارج قسمت صحیحی از مقدار استاندارد ۱۰۰ داو بدهد. این به معنی انتخاب ۵۰، ۲۵، ۱۰ یا ۵ داو است. از هیچ مقدار عددی دیگری استفاده نکنید که پشیمان خواهید شد.

یک نرم افزار طراحی برد مدار چاپی کلیدهای فوری یا کلید ماکروهای قابل برنامه ریزی خواهد داشت که به شما کمک می کند که هر زمان احتیاج داشتید از اندازه های شبکه ای متفاوت استفاده کنید.

دو نوع شبکه در یک نرم‌افزار طراحی برد مدار چاپی وجود دارد، یکی شبکه قالب‌زنی (اسنپ‌گرید) که بحث شد، و یک شبکه «مرئی». شبکه مرئی یک شبکه دلخواهی نمایشی از مجموعه خطوط سه بعدی یا فاصله‌دار، یا مجموعه نقاط استاین شبکه بعنوان پس‌زمینه در پشت طرح شما نمایش داده می‌شود و در ردیف کردن قطعات و مسیرها بسیار کمکتان می‌کند. می‌تواند شبکه اسنپ و شبکه مرئی را با واحدهای متفاوت (متریک یا امپریال) تنظیم کنید، و این اغلب بسیار مفید است. بسیاری از طراحان شبکه مرئی ۱۰۰ داوی را ترجیح می‌دهند و بندرت آنرا تغییر می‌دهند.

برخی از نرم‌افزارها شبکه دیگری نیز دارند بنام شبکه «الکترونیک». این شبکه دیدنی نیست، ولی به مکان‌نمای شما امکان می‌دهد وقتی خیلی به اشیای الکتریکی مثل مسیرها و لایه‌ها نزدیک می‌شود، درست در وسط آنها جا بگیرد. این امر در مواقعی که نیاز به روتینگ دستی، ویرایش و جابجایی اشیا هست، بسیار مفید است.

نوع آخر شبکه، شبکه «قطعات» است. این شبکه مانند شبکه قالبی کار می‌کند، اما تنها برای جابجایی قطعات است. این به شما امکان می‌دهد اجزای قطعات را در شبکه‌ای مجزا مرتب بچینید. دقت کنید که اندازه این شبکه را مضربی از شبکه قالبی بگیرید.

وقتی شروع به آرایش اولین برد خود می‌کنید، شبکه‌های قالبی کمی مسخره به نظر می‌رسند و مکان‌نمای شما تنها می‌تواند در میان خانه‌های شبکه ببرد، که برخلاف نرم‌افزارهای نقاشی گونه‌ای است که همه با آنها آشنایند. اما براحتی می‌توان بدان عادت کرد، و طرحهای مدار چاپی شما تمیزتر و حرفه‌ای‌تر می‌شوند.

## کار از نمای بالا<sup>۱۶</sup>

طراحی برد مدار چاپی معمولا از منظر بالای برد شما صورت می‌گیرد، و می‌توانید به همه لایه‌ها نگاه کنید انگار که لایه‌ها شفاف هستند. تنها زمانی که به برد خود از پایین نگاه می‌کنید زمان ساخت آن یا به قصد کنترل آن است. این نگاه از میان لایه‌ها بدان معناست که باید عادت کنید لایه‌های زیرین را با گذشتن از لایه‌های رویی نگاه کنید، عادت می‌کنید!

## مسیرها (تراک‌ها)<sup>۱۷</sup>

هیچ استاندارد توصیه شده‌ای برای اندازه مسیرها وجود ندارد. اندازه مسیر شما در صورت لزوم بستگی به التزام الکتریکی طرح، فضای مسیرکشی و فاصله که در دسترس شماست دارد. هر طراحی التزامات الکتریکی متفاوتی دارد که ممکن است از مسیری به مسیر دیگر در برد متفاوت باشد. همه طرحها مگر موارد خاص به مخلوطی از اندازه‌های مسیر نیاز دارند. البته به طور کلی، هرچه قطر مسیر بیشتر باشد، بهتر است. مسیرهای بزرگتر مقاومت DC پایینتر و مقاومت القایی کمتری دارند، و قلم‌زنی آنها برای سازنده ارزانتر و راحت‌تر می‌شود، و همینطور حداقل قطر تراک‌ها بستگی به تفکیک‌پذیری «تراک/فضا» دارد که سازنده مدار چاپی شما قادر است با آن کار کند.

<sup>16</sup> Working from the top

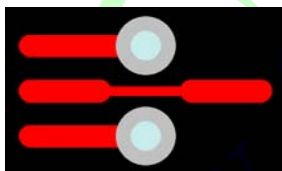
<sup>17</sup> Tracks

به عنوان مثال، سازنده‌ای ممکن است رقم ۱۰/۸ تراک/فضا را اعلام کند. این بدان معناست که مسیرها نباید قطری کمتر از ۱۰ داو داشته باشند، و فزاده‌ی بین مسیرها (یا لایه‌ها، یا هر بخش مس) هم نباید کمتر از ۸ داو باشد. این ارقام تقریباً همیشه برطبق داو اعلام می‌شوند، که در آن عرض مسیر اول و فضا بعد می‌آید.

اما نمونه ارقام واقعی معمولاً برای بردهای اصلی ۱۰/۱۰ و ۸/۸ هستند. استاندارد IPC توصیه می‌کند که ۴ داو حداقل مقدار باشد. اگر مسیرها را تا ۶ داو و کمتر پایین بیاورید دچار مشکلات جدی و بن‌بست می‌شوید، و اول از همه باید با سازنده خود در این باره مشورت کنید. هرچه رقم تراک/فضا کمتر باشد، سازنده باید دقت بیشتری را صرف میزان کردن و قلم زنی<sup>۱۸</sup> برد کند. این هزینه را به گردن شما خواهند انداخت، پس دقت کنید که این رقم را از مقدار مورد نیاز آن کمتر نکنید. بعنوان راهنمایی، در فرایندهای ساخت برد مدارچاپی خانگی یا دستی مثل ترانپارنسی‌های چاپ لیزر و بردهای حساس به نور که از قبل لایه‌گذاری شده‌اند، براحتی می‌توان به مقادیر ۱۰/۱۰ و حتی ۸/۸ در فزاده‌ی رسید.

از آنجا که سازنده تنها مقدار تراک/فضای مشخصی را می‌تواند بدست آورد، هیچ دلیلی ندارد که در طرح خود از محدودیتها فراتر بروید. تا آنجا که می‌توانید از رقم تراک/فضای درشت استفاده کنید مگر آنکه پارامترهای طرح شما به مقدار کمتری احتیاج داشته باشد.

در آغاز، ممکن است مثلاً از ۲۵ داو برای مسیهای سیگنال استفاده کنید، از ۵۰ داو برای مسیهای زمین (ground) و منبع یا پاور (power)، و از ۱۰-۱۵ داو برای مسیهای بین IC و لایه‌های قطعات. البته برخی طراحان ممکن است از ظاهر مسیهای سیگنال کوچکتر مثل ۱۰ یا ۱۵ داو خوششان بیاید، درحالی‌که برخی دیگر دوست دارند همه مسیها بزرگ و قطور باشند. یک طراحی خوب طرحی است که مسیها را تا جای ممکن بزرگ نگهدارد، و فقط در جایی که نیاز است برای پاسخ به نیازهای فضا به سراغ مسیهای باریکتر برود.



کم کردن قطر مسیر از بزرگ به کوچک و برعکس را اصطلاحاً «نک»<sup>۱۹</sup> زدن می‌گویند. معمولاً زمانی به زدن نک نیاز پیدا می‌کنید که بخواهید از بین IC و لایه‌های قطعات عبور کنید. این به شما اجازه می‌دهد مسیهای خوب با امپدانس پایین داشته باشید، اما انعطاف و قابلیت روتینگ بین نقاط فشرده را هم دارد.

در عمل، قطر مسیر شما را جریان عبوری از آن، و ماکزیمم افزایش دمایی که می‌خواهید مسیر تحمل کند تعیین می‌کند. به یاد داشته باشید که هر مسیری مقدار مقاومت مشخصی دارد، و بنابراین درست مانند یک مقاومت هدردهی گرمایی دارد. هرچه مسیر قطورتر باشد، مقاومت آن کمتر است. ضخامت مس روی برد مدار چاپی شما هم، همانند لایه‌های پوشاننده لحیم در این مسئله نقش دارند.

<sup>18</sup> etching

<sup>19</sup> “necking” or “necking down”

ضخامت مس روی برد مدار چاپی معمولاً با انس در فوت مربع مشخص می‌شود، و ۱ انس مس رایجترین آنهاست. شما می‌توانید ضخامتهای دیگری چون ۰/۵ و ۴ انس هم سفارش بدهید. لایه‌های ضخیم‌تر مس برای طرحهای جریانهای بالا و اطمینان بالا مفیدند.

محاسبه قطر مسیر مورد نیاز بر حسب جریان و ماکزیمم افزایش گرما کمی پیچیده است. و همینطور می‌تواند نادرست باشد، چرا که استاندارد آن بر اساس یکسری گراف غیرخطی است که بر اساس اطلاعات اندازه‌گرفته شده در نیم قرن گذشته بدست آمده‌اند. این مقادیر همچنان در استاندارد IPC باز تولید می‌شوند.

یک برنامه دستی محاسبه قطر مسیر را می‌توانید در آدرس [www.ultracad.com/calc.htm](http://www.ultracad.com/calc.htm) پیدا کنید، که بر اساس گرافهای IPC جواب می‌دهد.

در کل، افزایش دما تا ۱۰ درجه سانتیگراد در مسیر شما محدوده امنی برای طراحی است. در این مقاله جدول مرجعی گنجانده شده است که به شما فهرستی از قطر مدار در مقابل جریان عبوری برای افزایش ۱۰ درجه گرما ارائه می‌دهد. مقاومت DC به میلی اهم در اینج هم نشان داده شده است. البته، هرچه مسیر بزرگتر باشد بهتر است، پس سعی نکنید به هر طریق فقط جدول زیر را رعایت کنید.

جدول مرجع عرض مسیر (تا ۱۰ درجه سانتیگراد افزایش دما). عرض مسیر به داو (میل) می باشد.			
milli Ohms/Inch	عرض برای ۲ انس	عرض برای ۱ انس	جریان (Amps)
52	5	10	1
17.2	15	30	2
10.3	25	50	3
6.4	40	80	4
4.7	55	110	5
3.4	75	150	6
2.9	90	180	7
2.3	110	220	8
2.0	130	260	9
1.7	150	300	10

## پد (جایایه) ۲۰

اندازه، شکل، و ابعاد پد نه تنها به قطعه‌ای که استفاده می‌کنید بستگی دارد، بلکه به فرایند ساخت و سوار کردن برد هم وابسته است. استانداردها و نظریه‌های بسیاری برای اندازه و آرایش پد وجود دارد، که بعدها به آن می‌پردازیم. در این مرحله کافیت بگوییم که مجموعه برد مدار چاپی شما باید مطابق داده‌های قطعات اصلی باشد که به کار

می‌برید. اگرچه در تمام بردها مگر بردهای بسیار ساده، قطعات اصلی را باید متناسب با هدف خود تغییر دهید. با گذشت زمان شما می‌توانید مجموع اطلاعات قطعات خودتان را متناسب با نیازمندیهای مختلف تهیه کنید.

پارامتر بسیار مهمی با عنوان ضریب پد/سوراخ وجود دارد، که نسبت اندازه پد به سوراخ است. هر سازنده‌ای حداقل خصوصیات مناسب خود را اعمال می‌کند. در یک قانون کلی، پد باید حداقل ۱/۸ برابر اندازه قطر سوراخ باشد. یا حداقل ۰/۵ میلی متر بزرگتر باشد. این بدان جهت است که خطای ردیف‌بندی را در دریل‌ها جبران کند و لایه‌های بالایی و پایینی را بشکل تمیز درآورد. این نسبت هرچه سوراخ کوچکتر باشد اهمیت بیشتری پیدا می‌کند، و مخصوصا به وایا مرتبط می‌شود.

در مورد پد قطعات ژنریک تمهیدات رایجی بکار می‌رود. پد قطعات سرب‌اندود مثل مقاومتها، خازنها و دیودها باید گرد باشند و قطر حدود ۷۰ داو رایج است. قطعات DIL<sup>۲۱</sup> مثل IC ها در پدهای بیضی شکل بهتر جای می‌گیرند (۶۰ داو طول و ۹۰-۱۰۰ داو عرض معمول است). پایه اول تراشه همیشه باید شکل پد متفاوتی داشته باشد، که معمولا چهارگوش است و دارای ابعاد یکسانی با سایر پایه‌ها دارد.

برای بسیاری از قطعات SMD (سوار بر سطح)<sup>۲۲</sup> هم از پدهای مستطیلی استفاده می‌شود، اگرچه IC های بسته SO و SMD باید در پدهای بیضی شکل قرار بگیرند، و باز برای اولین پایه باید از مستطیل استفاده کرد.

برای سایر قطعات که به تعداد پایه‌ها بستگی دارد، مثل اتصال دهنده‌ها و پک‌های مقاومت SIP هم باید از قانون اولین پایه مستطیلی استفاده کرد.

پدهای هشت ضلعی بندرت استفاده می‌شوند، و در کل باید از آنها پرهیز کرد.

در قاعده کلی، تا جایکه می‌توانید از پدهای دایره و بیضی استفاده کنید مگر زمانیکه مجبورید از چهارگوش استفاده کنید.

## وایا<sup>۲۳</sup>

وایا بوسیله یک سوراخ در برد، مسیرها را از یک طرف برد به طرف دیگر وصل می‌کند. در تمام بردها، مگر بردهای ارزان خانگی یا نمونه‌های تجاری پایین قیمت، وایاها با سوراخهای روکش‌دار الکتریک ساخته می‌شوند، که به آن PTH<sup>۲۴</sup> می‌گویند. این سوراخهای الکتریکی اجازه می‌دهند بین لایه‌های مختلف برد اتصال الکتریکی برقرار شود.

وایا و پد چه تفاوتی با هم دارند؟ در عمل تفاوت چندان واقعی وجود ندارد، و هر دو آنها سوراخهای رسانا اندود هستند. اما وقتی به نرم‌افزارهای طراحی برد مدار چاپی می‌رسیم قضیه فرق می‌کند. باید پد و وایا را متفاوت از هم

<sup>21</sup> DIL: Dual In Line

<sup>22</sup> Surface Mount Devices

<sup>23</sup> Vias

<sup>24</sup> PTH: Plated Through Holes

دانست و بکار برد. می‌توانید سراسر ایندو را جدا از هم ویرایش کنید، و حتی کارهای پیشرفته تری رویشان انجام دهید که بعدا بدان می‌پردازیم. پس هیچ‌گاه پد را به جای وایا و یا برعکس استفاده نکنید.

سوراخها در وایا معمولا کمی کوچکتر از پد قطعات هستند، و معمولا ۰/۷-۰/۵ میلی‌متر هستند.

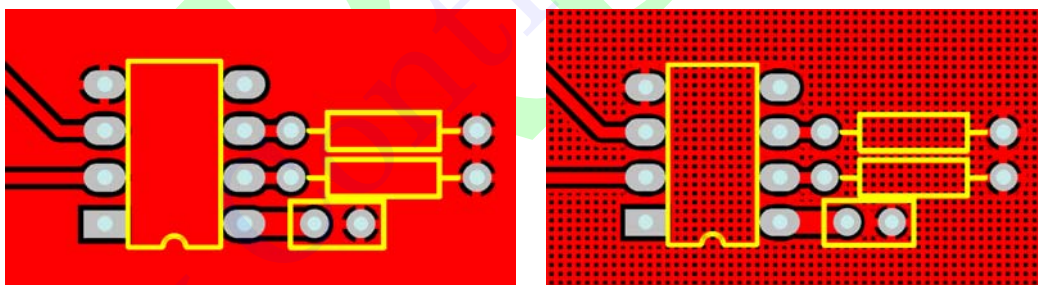
استفاده از وایا برای اتصال دو لایه به هم را اصطلاحا «بخیه زدن»<sup>۲۵</sup> می‌گویند، چراکه در نتیجه دارید هر دو لایه را از نظر الکتریکی به هم وصل می‌کنید همانطور که نخ و سوزن دو تکه را به هم می‌دوزد. چندبار که از اصطلاح «بخیه کردن» stitching در صحبت‌های خود استفاده کنید، درست مانند یک طراح برد مدار چاپی حرفه‌ای بنظر می‌رسید!

## پولیگون (چندضلعی)<sup>۲۶</sup>

چندضلعی‌ها در بسیاری از نرم‌افزارها در دسترسند. یک چندضلعی بطور اتوماتیک ناحیه مطلوب را که در کنار سایر مسیرها و پدها قرار می‌گیرد یا «جریان دارد» با مس می‌پوشاند - «انباشته می‌کند». چندضلعی‌ها برای طرح و آرایش صفحات زمین بسیار مناسبند. دقت داشته باشید که چندضلعی‌ها را تنها زمانی که تمام پدها و مسیرها تان را کشیده‌اید رسم کنید.

چندضلعی‌ها می‌توانند به دو شکل فضاهای «یکپارچه»<sup>۲۷</sup> از مس یا مسیرهای مسی «مقاطع» باشند که بشکل «هاشور» رسم شده‌اند<sup>۲۸</sup>. مدا توپر و یکپارچه بیشتر مقبولند، و مدل هاشوری تقریبا از مد افتاده است.

مثالی از «چندضلعی توپر یکپارچه» (چپ) و یک «چندضلعی



هاشورخورده» (راست)

## فاصله گذاری<sup>۲۹</sup>

فضای غیرالکتریکی یکی از نیازهای ضروری هر بردی است. هرچه فاصله بین مسیرها و لایه‌ها فشرده‌تر باشد، امکان اتصال کوتاه مویی را و مشکلات قلم‌زنی دیگری را در زمان فرایند ساخت برد موجب می‌شود. یافتن ایراد چنین بردهایی پس از سوار کردن قطعات بسیار مشکل است. پس بار دیگر می‌گوییم، هیچگاه خود را بیش از

<sup>25</sup> “stitching”

<sup>26</sup> Polygons

<sup>27</sup> “solid”

<sup>28</sup> “hatched”

<sup>29</sup> Clearances

محدودیت سازنده خود تحت فشار نگذارید مگر آنکه مجبور باشید، همواره تا جایی که ممکن است بالاتر از حداقل فضای توصیه شده بمانید.

حداقل ۵۰ داو حد فاصله خوبی برای طرحهای بین سوراخی است، ۱۰ یا ۸ داو برای آرایشهای متراکمتر قطعات SMD مناسب است. اگر می خواهید از این کمتر کنید، ابتدا خوب است با سازنده برد مدار چاپی خود مشورت کنید.

برای مین بردهای ۲۴۰ ولت روی کامپیوتر شخصی شما نیازمندیهای قانونی بسیاری وجود دارد، و اگر از این جنس طراحیها می کنید باید ابتدا به سراغ استانداردهای مربوط به آن بروید. در یک قانون کلی، حداقل مطلق فضادهی ۸ میلیمتر (۳۱۵ داو) باید بین مسیره های ۲۴۰ ولت و مسیره های سیگنال ایزوله داده شود. تجربه طرحهای خوب به شما می گویند که به هر طریق بهتر است فاصله بیشتر از این هم بگذارید.

برای ولتاژهای بردهای غیر اصلی (non-main)، استاندارد IPC جداولی وضع کرده است که فضادهی لازم برای ولتاژهای مختلف را ارائه می کند. اینجا یک جدول ساده شده را می آوریم. فاصله بسته به آنکه مسیره ها در یک لایه داخلی قرار گرفته اند یا در سطح خارجی هستند متفاوت است. همچنین بسته به ارتفاع موثر بر برد بالاتر از سطح دریا بخاطر نازک شدن اتمسفر در ارتفاعات بالا تغییر می کند. روکشهای تطابقی هم این مقادیر فضادهی را تغییر می دهند، و این معمولا در بردهای مدار چاپی با کاربرد نظامی لحاظ می شود.

فاصله گذاری برای رساناهای الکتریکی			
ولتاژ (DC or Peak AC)	داخلی	خارجی (<3050m)	خارجی (>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

## چیدمان قطعات و طراحی

طبق گفته‌ای قدیمی طراحی مدار چاپی ۹۰٪ چیدمان است و ۱۰٪ مسیریابی. اگرچه این ارقام اهمیت چندانی ندارند، مفهومی که جایابی قطعات را مهمترین جنبه آرایش یک برد می‌داند قطعاً حقیقت دارد. جایابی خوب قطعات کار آرایش برد شما را راحت‌تر می‌کند و بهترین عملکرد الکتریکی را موجب می‌شود. چیدمان بد قطعات می‌تواند مسیریابی شما را به یک کابوس تبدیل کند و عملکرد ضعیف الکتریکی را موجب شود. حتی ممکن است ساختن برد شما را غیرممکن کند. پس هنگامی که قطعات را جایابی می‌کنید باید به خیلی چیزها فکر کنید.

هر طراحی روش جایابی قطعات خاص خودش را دارد، و حتی اگر مدار یکسانی را (مهم نیست چقدر ساده باشد) به ۱۰۰ طراح حرفه‌ای مختلف بدهید، هر بار با ۱۰۰ طرح برد مدار چاپی متفاوت روبرو می‌شوید. پس راه درست مطلقاً برای جایابی قطعات شما وجود ندارد. اما قوانین اصلی اندکی وجود دارد که رعایت آنها روتینگ شما را ساده‌تر می‌کند، و بهترین عملکرد الکتریکی را به شما می‌دهد، و طرح‌های عظیم و پیچیده را ساده می‌کند.

در این مرحله فکر خوبی است که گام‌های اصلی مورد نیاز برای آرایش یک برد کامل را به شما نشان دهیم:

- ◀ اسنپ‌گرید، گرید مرئی و اندازه‌های پیش فرض مسیر و پد خود را قرار دهید.
- ◀ همه قطعات خود را روی برد بریزید.
- ◀ تا جایی که ممکن است، قطعات خود را تقسیم و آنها را در «بلوکهای سازه‌ای» بسته به عملیاتشان قرار دهید.
- ◀ مسیرهای حیاتی طرح خود را در مدار تشخیص دهید و ابتدا آنها را مسیریابی کنید.
- ◀ هر بلوک سازه‌ای و عملیاتی را بطور جداگانه و خارج از فضای برد جایابی و مسیریابی کنید.
- ◀ بلوکهای سازه‌ای کامل شده را به جایگاه خود در برد اصلی منتقل کنید.
- ◀ اتصالات پاور و سیگنالهای باقیمانده بین بلوکها را مسیریابی کنید.
- ◀ یک تمیزکاری کلی روی برد انجام دهید.
- ◀ قوانین طراحی کلی را کنترل کنید.
- ◀ برد را به کسی بدهید تا چک کند.

این لیست به معنای همه‌چیز و آخرین چک لیست نیست، و بسته به فاکتورهای بسیاری قابل تغییر است. اما راهنمای عمومی خوبی است برای تولید یک آرایش برد دست اول و حرفه‌ای.

بیا باید نگاه جزئی‌تری به رویه فوق داشته باشیم.

پیش از این نگاهی به شبکه‌ها (گرید) و اندازه‌های مسیر/پد داشته‌ایم، اینها اولین ملزوماتی هستند که پیش از از هرکاری باید تنظیم کنید. هیچ استثنایی هم ندارد!

بسیاری افراد پیش از همه مستقیماً به چیدمان همه قطعات در جایی که فکر می‌کنند بهترین موقعیت برد است می‌پردازند. اگرچه ممکن است این کار برای مدارهای کوچک جواب دهد، وقتی به مدارهای پیچیده تر با صداها



قطعه می‌رسید که بلوکهای عملیاتی بسیاری دارند جای امیدی به این روش نیست. چرا؟ چون براحتی «فضای روتینگ» شما، که تنها اتاق جاده‌ی تمام مسیره‌است تمام می‌شود. اگر اول تمام موقعیت قطعات را ثابت کنید و بعد بسراغ روتینگ بروید خودتان را بیچاره کرده‌اید. به همین ترتیب، اگر قطعات را با فاصله بسیار زیاد پخش کنید، برد خیلی بزرگی روی دستتان می‌ماند که استفاده بهینه از فضا نداشته است.

نشان یک طراح بی‌تجربه بردی است که در آن هر قطعه به یک اندازه از بقیه اجزا فاصله دارد، و در نتیجه هزاران مسیر و وایا روی برد از روی هم می‌گذرند. ممکن است چنین بردی کار کند، اما زشت و نابهینه است، حال صرفنظر از اینکه برای ساختن تا چه حد بزرگ و پرهزینه است.

بهترین راه شروع یک آرایش برد اول از همه آوردن همه‌ی قطعات روی صفحه است.

اگر یک نرم‌افزار شماتیک جانبی دارید، بهترین راه آن است که از طریق برنامه طراحی برد مدار چاپی ابتدا طرح شماتیک خود را وارد نرم‌افزار کنید و بطور اتوماتیک همه قطعات را انتخاب کنید. کمی بعد به این هم خواهیم پرداخت. اگر تنها دارایی شما همان برنامه طراحی برد مدار چاپی است، پس باید هر قطعه را از مرجع قطعات (یا اصطلاحاً library) انتخاب کنید و آنها را دستی روی برد قرار دهید.

وقتی همه قطعات روی برد قرار گرفت، باید ببینید آیا همه اجزا براحتی بر روی اندازه و شکل برد شما جای می‌گیرند. اگر بنظر می‌رسد که قرار است برد فشرده‌ای داشته باشید، می‌فهمید که کار دشواری در جاده‌ی فشرده قطعات و فضاسازی خواهید داشت، و مسیرکشی‌ها هم باید تا اندازه ممکن بهینه باشند. اما اگر بنظر می‌رسد که فضای کافی در اختیار دارید، می‌توانید کمی آزادانه‌تر طراحی کنید. اما اگر همچنان کارتان روی برد به مشکل برخورد، باید طراحی قطعات را به برد طراحی منتقل کنید.

حال شماتیک خود را تحلیل کنید و تصمیم بگیرید که کدام قسمت طرح می‌تواند به بلوکهای سازه‌ای شکسته شود. اغلب این کار بسیار ساده است. بعنوان مثال فیلتر فعال پیچیده‌ای روی مدار خود دارید. این به معنای یک خط ورودی و یک خط خروجی است، اما شامل تعداد زیادی قطعات و اتصال دهنده بعنوان بخشی از فیلتر است. این یک مدار «بلوک سازه‌ای» کلاسیک است، و اجازه می‌دهد تمام این اجزا در یک مکان با هم ادغام شوند. پس می‌توانید تمام این اجزا را با هم بگیرید و شروع کنید به مرتب کردن دوباره آنها در یک گوشه برد خود بکنید. زیاد نگران این نباشید که بلوک نهایتاً در کجای برد شما قرار می‌گیرد.

همچنین شما باید اجزای حساس الکتریکی طرح خود را به بلوکهای بزرگتر تجزیه کنید. یک نمونه اصلی مدارات مرکب آنالوگ و دیجیتال است. قسمتهای آنالوگ و دیجیتال نباید با هم مخلوط شوند، و لازم است که از نظر فیزیکی و الکتریکی کاملاً از هم جدا باشند. نمونه دیگر مدارهای فرکانس بالا و جریان بالا هستند، اینها نباید با مدارات حساس فرکانس پایین و جریان پایین درهم شوند. بعدها بیشتر بدان می‌پردازیم.

بعنوان یک قانون کلی، قطعات شما باید بسیار مرتب و تمیز چیده شده باشند. IC ها را همه در یک جهت، مقاومتها در ستونهای تمیز، خازنهای دوقطبی همگی به یک شکل کنار هم، و اتصال دهنده‌ها را در لبه‌ی برد بگذارید. اما این

کار را به قیمت آرایش ضعیف الکتریکی یا بزرگ شدن برد انجام ندهید. پارامترهای الکتریکی همیشه بر ترتیب زیبای قطعات اولویت دارند.

تقارن در طراحی برد مدار چاپی بسیار زیباست، از نظر زیبایی شناسی خوشایند است و «درست» بنظر می‌رسد. اگر دوتا مدار بلوک سازه‌ای را کنار هم بگذارید، و یکی کمی متفاوت از دیگری بنظر برسد، بدجوری خود را توی چشم می‌زند.

اگر همه قطعات خود را با تعقل بچینید، ۹۰ درصد کار را انجام داده‌اید. ده درصد بقیه براحتی نقطه گذاری است. شاید نه دقیقا، ولی به هر حال چیدمان خوب اساس کار شماست.

وقتی از چیدمان قطعات احساس رضایت کردید، می‌توانید روتینگ تمام بلوکهای سازه‌ای مشکل را بطور جداگانه شروع کنید. وقتی کار تمام شد، جابجایی و مرتب کردن بلوکهای سازه در طرح اصلی شما کار بسیار ساده‌ای می‌شود.

«چک کردن قانون طراحی»<sup>۳۰</sup> بعدا انجام می‌گیرد، اما گامی اساسی در حصول اطمینان از صحت برد قبل از ساختن آن است. DRC در واقع درستی اتصالات مسیرها، و درستی عرضها و فاصله را چک می‌کند.

بنظر می‌رسد دادن برد به شخصی دیگر برای چک کردن فرایندی تماما بوروکراتیک باشد، اما حقیقتا اقدامی حیاتی است. اهمیتی ندارد که چقدر شما در طراحی برد مدار چاپی باتجربه باشید، چون همیشه چیزی هست که از آن غافل مانده‌اید. چشمان غریبه با برد و ذهنی متفاوت بهتر می‌تواند مسائلی را که شما ممکن است هیچوقت نبینید پیدا کند.

اگر هیچکس را برای چک کردن برد خود ندارید، و نرم‌افزارتان قابلیت DRC را ندارد، خودتان مجبور به این کار می‌شوید. یک نسخه چاپی از شماتیک خود و یک مازیک های‌لایت تهیه کنید. حال، تک تک اتصالات الکتریکی هر «نت» روی برد را با شماتیک خود مقایسه کنید، نت به نت. هر شبکه روی شماتیک را که بررسی کردید های‌لایت کنید. وقتی کارتان تمام شد، باید هیچ اتصال الکتریکی بدون های‌لایت نمانده باشد. حال می‌توانید نسبتا اطمینان خاطر پیدا کنید که برد شما از نظر الکتریکی درست است.

### روتینگ (مسیریابی) اصلی<sup>۳۱</sup>

حال نوبت قوانین اصلی مسیریابی می‌رسد. به مسیریابی علاوه بر «روتینگ»<sup>۳۲</sup>، «تراکینگ»<sup>۳۳</sup> هم می‌گویند.

روتینگ فرایند رسم کردن مسیر (تراک)هایی است که قطعات روی برد شما را به هم متصل می‌کنند. هر اتصال الکتریکی بین دو پد یا بیشتر را اصطلاحا یک «نت»<sup>۳۴</sup> می‌گویند.

<sup>30</sup> DRC: Design Rule Check

<sup>31</sup> Basic Routing

<sup>32</sup> "routing"

<sup>33</sup> "tracking"

- ◀ شبکه‌ها را تا آنجا که ممکن است کوتاه نگهدارید. هرچه مجموع طول مسیر شما بلندتر باشد، مقاومت، کاپاسیتانس، و اندکتانس آن بیشتر است. که همه اینها می‌تواند عوامل نامطلوبی باشند.
- ◀ مسیرها تنها می‌توانند زاویه ۴۵ درجه داشته باشند. از بکاربردن زوایای قائم پرهیز کنید، و تحت هیچ شرایطی از زاویه‌ای بیش از ۹۰ درجه استفاده نکنید. اهمیت آن از اینروست که ظاهر حرفه‌ای و تمیز به برد شما می‌دهد. نرم‌افزارهای طراحی برد مدار چاپی حالت حرکتیهای ۴۵ درجه‌ای را لحاظ کرده‌اند، از آن استفاده کنید. هرگز این حالت را غیرفعال نکنید. برغم باور عام، گوشه‌های تیز قائم در مسیر هیچ مشکل EMI قابل توجه یا مشکلات دیگری ایجاد نمی‌کند. دلیل پرهیز از زوایای قائم بسیار ساده‌تر از اینهاست - تنها ظاهر خوبی ندارند، و ممکن است مشکلاتی برای سازنده بوجود بیاورد، همین.
- ◀ گوشه‌های گرد و قشنگ را برای مسیرها فراموش کنید، این گوشه‌ها برای جاگذاری مشکلات و کندتر هستند و هیچ مزیتی ندارند. به همان زوایای ۴۵ درجه بچسبید. گوشه‌های مسیر گرد متعلق به دوران هنری ضبط پیش از ظهور برنامه‌های طراحی کامپیوتری (pre-CAD) هستند.
- ◀ مسیرهائتان را دور برد حرکت دهید، به دنبال کوتاهترین مسیر نقطه به نقطه نباشید. چنین مسیریابی ممکن است برای یک تازه‌کار اقتصادی تر بنظر بیاید، ولی به چند دلیل ساده نباید از آن استفاده کنید. اول اینکه برد شما را زشت می‌کند، و زیبایی طرح همیشه در طراحی برد مدار چاپی فاکتور مهمی است! و دوم اینکه چندان برای فضاسازی بصره نیست، مخصوصاً وقتی که می‌خواهید مسیرهای بیشتری را روی لایه‌های دیگر حرکت دهید.
- ◀ گرید الکتریکی خود را فعال کنید، که گاه آنرا با عنوان «اسنپ در مرکز»<sup>۳۵</sup> یا «اسنپ در نزدیکترین نقطه»<sup>۳۶</sup> هم در انتخابها خواهید یافت. به نرم‌افزار دستور دهید مرکز پدها و انتهای مسیرها را بطور اتوماتیک پیدا کند. این مخصوصاً زمانی خوب است که پدها و مسیرهایی دارید که در اسنپ گرید فعلی شما مرتب نشده‌اند. اگر این انتخابها بر روی نرم‌افزار شما فعال نیست، باید اسنپ گرید خود را تا بدانجا کاهش دهید که یک اسنپ گرید مناسب قطعات پیدا کنید. به دردرسش نمی‌ارزد. هرگز دلیلی برای غیرفعال کردن این انتخابها وجود ندارد.
- ◀ همیشه مسیرهتان را از وسط پد بکشید، فقط نگذارید مسیر و پد با هم مماس شوند. چند دلیل برای این وجود دارد. اول اینکه بردتان نامرتب و غیرحرفه‌ای می‌شود. دوم اینکه ممکن است برنامه تشخیص ندهد که مسیر اتصال الکتریکی با پد دارد. استفاده به جا از اسنپ گرید و گرید الکتریکی مانع مشکلات اینچنینی می‌شود.
- ◀ تنها از یک مسیر استفاده کنید، و نه از چندین مسیر که از انتها به هم چسبیده‌اند. ممکن است که ظاهر نهایی بردتان فرق چندانی نکند، ولی برای ویرایشهای بعدی دردرس‌ساز خواهد شد. اغلب مجبور می‌شوید که یک مسیر را اندکی درازتر کنید. در چنین موقعی بهتر آن است که مسیر قبلی را پاک کنید و یک مسیر جدید بکشید. ممکن است چند ثانیه بیشتر وقت بگیرد، ولی ارزش آنرا را دارد. کسانی که به برد شما نگاه می‌کنند ممکن است متوجه نشوند، ولی شما می‌دانید! همین چیزهای کوچک است که طراحان خبره برد مدار چاپی را متمایز می‌کند.

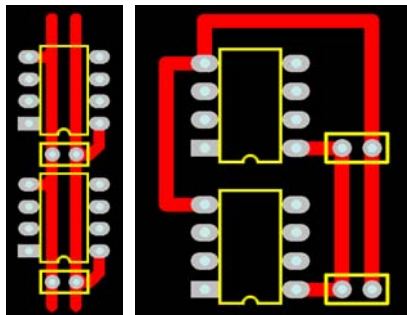
<sup>34</sup> “net”

<sup>35</sup> “snap to grid”

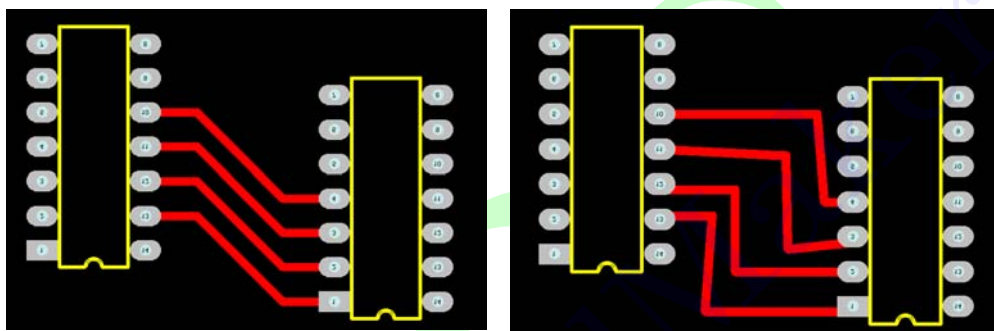
<sup>36</sup> “snap to nearest”

- ◀ دقت کنید که مسیرهائتان درست از وسط پدها و قطعات عبور کنند، و نه متمایل به یک طرف آنها. استفاده از اسنپ گرید درست می‌تواند تضمین کند که هر بار این نکته را رعایت کنید. اگر مسیرهاتان دقیقاً از وسط رد نشود، اسنپ گرید شما نادرست است. چرا باید اینکار را بکنید؟ چون برد شما را تمیزتر و قرینه‌تر جلوه می‌دهد، و بیشترین فاصله را در اختیارتان می‌گذارد.
  - ◀ در هر ۱۰۰ داو تنها یک مسیر بگذرانید مگر اینکه مجبور باشید. تنها در طرحهای بسیار بزرگ و پیچیده است که می‌توانید به گذراندن دو مسیر از بین پدها فکر کنید. سه مسیر از بین پدها هم دیده شده است، ولی در اینجا خطاهای بسیار جدی پیش می‌آید.
  - ◀ در جریانهای بالا، برای عبور از میان لایه‌ها از وایاهای چندگانه استفاده کنید. این امر امپدانس مسیر شما را کمتر می‌کند و اطمینان برد را بالاتر می‌برد. این قانونی کلی است که هر وقت بخواهید امپدانس مسیر یا سطح پاور را پایین بیاورید می‌توان از آن استفاده کرد.
  - ◀ هرگز مسیرها را به زوایایی غیز از ۴۵ درجه نکشانید.
  - ◀ هر جا امکان داشت عرض مسیر را می‌توانید کم و زیاد کنید. مثلاً یک مسیر با عرض ۱۰ داو در بین دو پد ۶۰ داوی حدود ۱۵ داو فاصله بین مسیر و پد وجود می‌آورد.
  - ◀ اگر مسیرهای پاور و زمین شما بسیار حیاتی هستند، ابتدا آنها را بکشید. همچنین بکشید مسیرهای شما تا آنجا که جا دارد قطور باشند.
  - ◀ بگذارید مسیرهای پاور و زمین تا جای امکان در نزدیکی هم حرکت کنند، آنها را در جهات مقابل هم روی برد نکشانید. این امر مقاومت القایی لوپ حاصل از پاورسیستم را کاهش می‌دهد و اجازه گذر موثر آنرا می‌دهد.
  - ◀ همه چیز را قرینه نگهدارید. تقارن در مسیرکشی و چیدمان قطعات از نگاه زیبایی‌شناسانه یک حرفه‌ای بسیار باارزش است.
  - ◀ هیچ تکه پرشده مس بدون اتصالی باقی نگذارید (که به آن «مس مرده» هم می‌گویند)، آنها را به زمین وصل کنید یا خارجشان کنید.
- اگر دارید یک برد دو رویه بدون روکش رسم می‌کنید، چند نکته دیگر هم هست که باید رعایت کنید. سوراخهای بدون روکش ایجاب می‌کنند که یک اتصال بین لایه بالایی و پایینی لحیم کنید.

- وایاها را زیر قطعات نگذارید. وقتی که یک قطعه در جای خود لحیم شد، دیگر به نقطه اتصال دسترسی ندارید تا یک تغذیه در آنجا لحیم کنید. رابط لحیم برای تغذیه ممکن است با قطعه تداخل کند.
- سعی کنید از پایه قطعات که در سوراخ قرار می‌گیرند استفاده کنید تا مسیرهای بالایی را به مسیرهای پایینی وصل کنید. این کار تعداد وایاها را کمتر می‌کند. با یاد داشته باشید که هر وایا دو نقطه لحیم به برد شما اضافه می‌کند. هرچه نقطه اتصال لحیم بیشتری داشته باشید، ضریب اطمینان برد شما کمتر می‌شود. و نیازی به ذکر نیست که زمان سوار کردن برد هم بیشتر می‌شود.



نمونه‌ای از یک پاور روتینگ خوب (چپ) و یک پاور روتینگ بد (راست)



نمونه‌ای از روتینگ خوب (چپ) و روتینگ بد (راست)

## اتمام اتصالات<sup>۳۷</sup>

وقتی روتینگ برد را انجام دادید، هنوز کارتان تمام نشده است. چند نکته برای کنترل نهایی و اتمام مسیرها مانده است که باید انجام دهید.



◀ اگر مسیرهای نازک (کمتر از ۵۰ داو) دارید بهتر است که به هر نقطه اتصال T شکل یک «سه گوشه»<sup>۳۸</sup> اضافه کنید، و در نتیجه همه زوایای ۹۰ درجه را از بین ببرید. این کار از نظر فیزیکی مسیر قویتری می‌سازد، و از مشکلات احتمالی قلم‌زنی هنگام ساخت برد می‌کاهد. اما از همه مهتر، زیباتر بنظر می‌رسد.

- ◀ بررسی کنید که همه سوراخهای سوار کردن قطعه روی برد را گذاشته‌اید. این سوراخها را از هر قطعه یا مسیر پاک نگه دارید. فضای کافی برای واشر و پیچ هم در نظر بگیرید.
- ◀ تعداد سازه‌های متفاوت سوراخها را به حداقل برسانید. اندازه‌های اضافی سوراخها برای شما هزینه بردار است، چون سازنده نه تنها بر اساس تعداد سوراخهای روی برد، بلکه به تعداد اندازه‌های مختلف

<sup>37</sup> Finishing Touches

<sup>38</sup> "chamfer"

سوراخها هم از شما هزینه می‌گیرد. زمان زیادی صرف خاموش کردن یک دریل سرعت بالا، تعویض سرهای دریل، و دوباره به راه انداختن دریل می‌شود. برای چنین هزینه‌هایی با سازنده خود هماهنگی کنید، اما حق ندارید با کاهش تعداد اندازه های سوراخ برد را خراب کنید.

◀ دوبار درستی اندازه تمام سوراخهای قطعات روی برد را چک کنید. هیچ چیز آزاردهنده‌تر از این نیست که برد کامل و آماده خود را از سازنده تحویل بگیرید و ببینید که قطعات در سوراخها جا نمی‌گیرند! این مشکل رایجی است، خود را برای آن آماده کنید.

◀ مطمئن شوید که همه وایهای شما مثل هم هستند، با پد و اندازه سوراخهای یکسان. نسبت پد به سوراخ خود را به یاد داشته باشید. اشکالات اینچنین موجب ناکارایی در پد وایا می‌شود، که اگر کمی جابجا شود، سوراخ خارج از پد شما قرار می‌گیرد. در سوراخهای روکش خورده این مسئله چندانی نیست، ولی بدون یک حلقه گرد کامل دور سوراخ، وایا از نظر مکانیکی غیر قابل اطمینان می‌شود.

◀ بررسی کنید که فاصله فیزیکی مناسب بین تمام قطعات شما وجود داشته باشد. قطعات خود را در معرض فلزاتی که می‌توانند تماس الکتریکی با سایر قطعات برقرار کنند، یا در معرض مسیرها و پدهای دیگر قرار ندهید.

◀ نمایش صفحه خود را به حالت «پیش نویس»<sup>۳۹</sup> درآورید تا تمام مسیرها و پدها را در یک نمای کلی نشان دهد. این به شما اجازه می‌دهد تا برد خود را با همه جزئیات ببینید، و هر مسیری را که جایی ضمیمه شده یا به وسط پد ختم نشده است نشان می‌دهد.

◀ اگر مایلید، به تمام پدها و وایها «قطره اشک»<sup>۴۰</sup> اضافه کنید. اشک باعث می‌شود که اتصال بین مسیر و پد هموار و صاف شود، و شکل یک قطره اشک را پیدا کند. این کار واسط میان مسیر و پد را مستحکم‌تر و قابل اطمینان‌تر می‌کند، و خیلی بهتر از زاویه قائمی است که بین یک مسیر استاندارد و پد بوجود می‌آید. البته اشکها را نباید دستی اضافه کنید، چون وقت تلف کردن است. اما اگر برنامه نرم‌افزاری شما امکان چیدمان اتوماتیک اشک را دارد، حتما از آن استفاده کنید.



## طرح یک سویه<sup>۴۱</sup>

طراحی یکسویه می‌تواند هزینه برد شما را بسیار کاهش دهد. اگر می‌توانید طرح خود را در یک برد یکرو جا بدهید، بهتر است همین کار را بکنید. در بسیاری از اقلام مصرفی امروز مثل تلویزیون و دی.وی.دی پلیرها هم تعداد زیادی از این بردهای یکرو را می‌بینید. هنوز هم از این بردها استفاده می‌شود چون تولیدشان بسیار ارزان تمام می‌شود.

با این وجود طرح یکسویه نیازمند تکنیکهای بخصوصی است که اگر بسراغ طرحهای دوسویه یا چندلایه‌ای بروید دیگر به آنها احتیاجی ندارید. مطمئنا از آرایش برد دوطرفه مشکلتر و چالشی‌تر است. در واقع، طرح یک برد

<sup>39</sup> “draft”

<sup>40</sup> “teardrops”

<sup>41</sup> One Sided Layer

یک سویه به نسبت تعداد هرچه کمتر اتصالات جهنده (جامپر)<sup>۴۲</sup> بکار رفته ارزش گذاری می شود. کار بدون جامپر مایه تحسین همگان است!

تمام نکته اینجاست که باید بین اندازه برد و تعداد اتصالات جامپر مورد نیاز تعادل باشد. تقریباً هر برد یکسویه ای به جامپر احتیاج پیدا می کند، پس مهم آن است که تعداد آنها را به حداقل برسانیم.

چیدمان قطعات بر روی برد یکسویه حساستر هم هست، چون دیگر زمان فکر کردن به زیبایی و تمیزی چیدمان قطعات نیست. قطعات خود را بشکلی بچینید که کوتاهترین و بهینه ترین مسیرکشی ممکن را بوجود آورد. مثل بازی شطرنج می ماند، که اگر به تمام حرکات پیش رویتان فکر نکنید زمانی می رسد که بسرعت در گوشه ای گرفتار شوید. کفایت یک مسیر از یک طرف برد به طرف دیگر کشیده شود تا تمام آرایش شما را خراب کند، چون که روتینگ هر مسیر مستقیم دیگری را غیر ممکن می کند.

بسیاری بردهایشان را طوری مسیریابی می کنند که گویی برد دوسویه است، اما تنها مسیرهای مستقیم روی لایه بالایی می گذارند. اما زمانی که برد باید ساخته شود، لایه بالایی با اتصالات جامپر فراوان جایگزین می شود. این می تواند راه بسیار غیرکارآمدی برای طرح یکسویه باشد، و اصلاً توصیه نمی شود. باید در چیدمان قطعات اقتصادی عمل کنید، و از این نترسید که اگر به راه بهتری برای روتینگ پی بردید همه چیز را بهم بزنید و از نو تلاش کنید.

با کسب تجربه، قادر خواهید بود که حتی قبل از شروع برد بفهمید می توانید یک برد یکرویه طراحی کنید یا نه.

## طرح دوسویه<sup>۴۳</sup>

طرح دوسویه مقدار آزادی بیشتری به طراحی برد شما می دهد. دسترسی به چیزهایی که در برد یکسویه تقریباً غیرممکن می نمود، وقتی یک لایه به برد اضافه کنید نسبتاً راحت تر می شود.

بسیاری از طراحان (باتجربه) وقتی به طراحی برد دورو می رسند تنبل می شوند. و فکر می کنند جایابی قطعات دیگر اهمیت چندانی ندارد، و می توان از صداها وایا استفاده کرد تا از دردسر خلاص شد. اغلب تمام قطعاتی چون IC ها رادر ردیف هایی مرتب می چینند، و بعد سعی می کنند همه چیز را با استفاده از قانون زاویه قائم مسیریابی کنند. این بدان معناست که تمام مسیرها در لایه زیرین را در یک جهت می کشند، و بعد تمام مسیرهای لایه رویی را عمود بر لایه زیرین می کشند. این از آن نظریه نشات می گیرد که اگر ... این تکنیک می تواند بسیار زشت و ناکارآمد باشد، و بازگشتی است به روزهای گذشته چاپ دستی. بسیاری از مسیریابی های اتوماتیک<sup>۴۴</sup> اصلی با این روش کار می کنند.

سعی کنید به همان تکنیکهای خوب چیدمان قطعات و روتینگ بصره بلوکهای سازه ای پردازید.

<sup>42</sup> Jumper link

<sup>43</sup> Double Sided Design

<sup>44</sup> Autorouter



طرح دوسویه به شما امکان این را نیز می‌دهد که از تکنیکهای خوب سطح زمین استفاده کنید، که در طرحهای فرکانس بالا مورد نیاز است. بعدا به این می‌پردازیم.

## سایر لایه‌ها

چند لایه مهم دیگر هم در کنار لایه‌های مسیر سربی در برد مدار چاپی شما وجود دارد.

### صفحه سیلک<sup>۴۵</sup>

لایه «صفحه سیلک» با عنوان «جایگذاری قطعات» یا «لایه راهنمای قطعات» هم شناخته می‌شود. این رویی ترین لایه (و اگر نیاز باشد زیرین ترین لایه) برد شماست که طرح کلی قطعات شما، نشانگرها (مثل R1, C1) و منتهای آزاد را شامل می‌شود.

این لایه با استفاده از فرایند «صفحه سیلک‌سازی» به برد شما اضافه می‌شود. رنگ استاندارد آن سفید است، ولی در صورت درخواست بقیه رنگهای آن هم قابل دسترسند. حتی می‌توانید رنگها را با هم مخلوط و هماهنگ کنید که معمولا هزینه اضافی به همراه دارد.

وقتی برد خود را طراحی می‌کنید، دقت کنید که تمام نشانگرهای قطعات خود را در یک اندازه متنی نگهدارید، و همه در یک جهت باشند.

زمانیکه سطح لازم قطعات خود را روی برد تعیین می‌کنید، هر جا امکان داشت، دقت کنید که جایگزین قطعه‌ای را انتخاب کنید که اندازه واقعی قطعه شما را نشان می‌دهد. به این ترتیب قادر خواهید بود با یک نگاه بفهمید چقدر قطعات خود را از نظر فیزیکی نزدیک هم چیده‌اید. مطمئن شوید که همه قطعات دوقطبی علامت گذاری شده‌اند، و پایه یک تعیین شده است.

لایه صفحه سیلک شما نامناسب‌ترین چیدمان را در همه لایه‌ها دارد، پس زیاد برای درستی قرارگیری روی آن حساب نکنید. مطمئن شوید که هیچ قسمتی از صفحه سیلک با پد بدون رویه تداخل نکند. هیچ حداقلی برای قطر خطوط در جایگزینی قطعات وجود ندارد، پس براحتی از خطوط و اندازه متن کوچکتر برای جاده‌ی اجزا استفاده کنید. اگر بخشهایی از متن یا خطوط روی برد شما خوب از آب درنیامد تاثیری روی طرح شما ندارد، مگر در مورد مسیرها و پدها.

در قانونی کلی، هیچگاه ارزش قطعات را روی صفحه سیلک نیاورید، فقط نشانگر قطعه را بیاورید.

<sup>45</sup> Silkscreen



## ماسک لحیم<sup>۴۶</sup>

ماسک لحیم یک پوشش پلیمری نازک روی برد شماسست که پدهای شما را احاطه می‌کند تا مانع پل زدن لحیم بین پایه‌ها شود. این کار برای ابزارهای ظریف متراکم و SMD ضروری است. ماسک لحیم به طور نمونه هرچیزی را به غیر از پد و وایا می‌پوشاند. برنامه طراحی برد مدار چاپی شما بطور اتوماتیک ماسک لحیم را از روی پد و وایا برمی‌دارد. فاصله‌ای که بین پد و ماسک لحیم می‌افتد به «انبساط ماسک» معروف است. انبساط ماسک باید حداقل چند داو باشد. مراقب باشید که آنرا خیلی بزرگ نگیرید، وگرنه هیچ ماسک لحیمی بین قطعات کوچک تزیقی نخواهد ماند.

ماسک لحیم شما در نرم‌افزار طراحی برد مدار چاپی شما درست مانند صفحه پاور بشکل تصویر نگاتیو نشان داده می‌شود. تحت شرایط عادی نیازی به گذاشتن چیزی بر روی لایه ماسک لحیم خود ندارید. اما اگر می‌خواهید ماسک لحیم را از روی قسمت مشخصی از برد خود بردارید، می‌توانید آن مسیره‌ها و اجزا را بر روی لایه ماسک لحیم خود بگذارید. اغلب برداشتن مساحت کوچکی از ماسک لحیم از بالای برد بشکل دستی انجام می‌شود، جایی که هیچ مسیری زیر آن نباشد. این کار فضای خوب خالی و قابل رویتی از برد شما را برای نوشتن چیزی با خودکار فراهم می‌کند.

ماسکهای لحیم در دو نوع هستند، «صفحه سیلک»، و «عکس پذیر»<sup>۴۷</sup>. ماسکهای با قابلیت عکس پذیری رزولوشن و ردیف بندی بهتری ارائه می‌دهند، و به نوع صفحه سیلک ارجحیت دارند. می‌توانید ماسک لحیمهای با رنگهای مختلف داشته باشید، اما رنگ استاندارد آن سبز است.

در بیشتر بردهای با کیفیت استاندارد، ماسک لحیم مستقیماً روی مسیره‌های لخت مسی کشیده می‌شوند. به این نوع ماسک لحیم بروی مس لخت یا SMOBC می‌گویند. می‌توانید علاوه بر ماسک لحیم، پوششهای دیگری روی مسیره‌ها داشته باشید، اما این بیشتر برای کاربردهای نامتعارف است.

اگر دوست دارید می‌توانید وایاها را هم با ماسک لحیم بپوشانید، به این کار «تنتینگ»<sup>۴۸</sup> می‌گویند. این کار برای طراحیهای با تولرانس نزدیک بسیار مفید است و نمی‌گذارد لحیم به داخل وایاها ریخته شود.

## لایه مکانیکی<sup>۴۹</sup>

لایه مکانیکی (که بسته به نرم‌افزار ممکن است نامهای دیگری هم داشته باشد) برای فراهم آوردن یک طرح کلی برای برد شما و سایر آموزه‌های ساخت استفاده می‌گردد. لایه مکانیکی بخشی از طرح برد مدار چاپی شما نیست، اما برای آنکه به سازنده برد مدار چاپی بگوید چگونه می‌خواهید برد شما سوار شود، بسیار کارآمد است. هیچ

<sup>46</sup> Solder Mask

<sup>47</sup> "photo imageable"

<sup>48</sup> tenting

<sup>49</sup> Mechanical Layer

قانون سریع یا مشکلی درباره این لایه وجود ندارد، هرطور که دوست دارید از آن استفاده کنید، فقط دقت کنید که به سازنده برد مدار چاپی خود بگویید چه می‌خواهید.

## لایه محافظتی<sup>۵۰</sup>

لایه محافظت‌شده کار معمولا نواحی روی برد شما را تعریف می‌کند که نمی‌خواهید بشکل دستی یا اتوماتیک مسیرکشی شود. این نواحی بعنوان مثال شامل نواحی فاصله اطراف جای سوراخ پایه‌ها یا قطعات ولتاژ بالا می‌شود.

## تراز لایه‌ها<sup>۵۱</sup>

وقتی سازنده مدار چاپی برد شما را می‌سازد، ممکن است خطای ردیف‌سازی روی فیلم کار در هر لایه پیش بیاید. این شامل مسیره‌ها، سطح، ماسک لحیم، و دریل کردن می‌شود. اگر اجازه چنین خطایی را روی برد خود فراهم نکرده باشید، و ضریب خطای خود را خیلی کم گرفته باشید، دچار مشکلات بزرگی نخواهید شد. با سازنده خود درباره خطای ردیف‌سازی احتمالی مشورت کنید، و همچنین بفهمید که برای چه درصد خطایی دارید هزینه می‌پردازید!

## نت‌لیست<sup>۵۲</sup>

یک نت‌لیست در حقیقت یک لیست از اتصالات («نت» هم گفته می‌شود) است که با شماتیک شما می‌خواند. همچنین شامل لیستی از قطعات، نشانگرهای قطعات، جای پای قطعات و سایر اطلاعات مربوط به شماتیک شماست. فایل نت‌لیست معمولا توسط نرم‌افزار شماتیک شما ایجاد می‌شود. ایجاد نت‌لیست را اصطلاحا «ضبط شماتیک»<sup>۵۳</sup> هم می‌گویند.

نرم‌افزار برد مدار چاپی شما می‌تواند این فایل نت‌لیست را وارد کرده و از آن استفاده بسیار ببرد. مثلا می‌تواند بطور اتوماتیک تمام قطعات مورد نیاز را بر روی برد خالی شما وارد کند. همچنین می‌تواند به هرکدام از پایه‌های قطعات شما یک نام اتصال (نت) بدهد. در صورت اختصاص نت به قطعات برد مدار چاپی شما امکان اتوروت یا مسیریابی اتوماتیک، کنترل قانون طراحی، و نمایش اتصال داشتن قطعات فراهم می‌شود. این هدف اساسی پشت نرم‌افزارهای کامپیوتری شماتیک و برد مدار چاپی است.

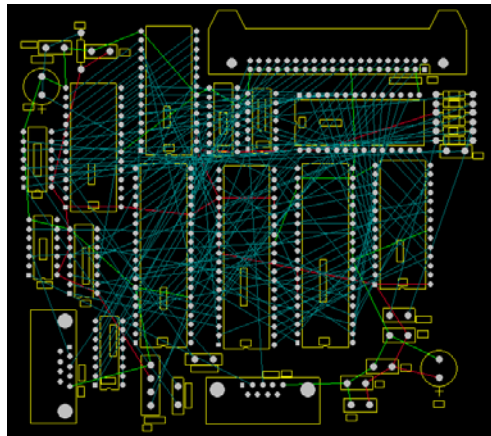
<sup>50</sup> Keepout

<sup>51</sup> Layer Alignment

<sup>52</sup> Netlists

<sup>53</sup> “schematic capture”

## نمایشگر لانه موشی ۵۴



یک نمونه از نمایش «لانه موشی».

کار چیدمان قطعات شما بسیار ساده تر می شود اگر حالت نمایشگر «لانه موشی» را فعال کنید. اگر تنها یک دلیل برای تحمل زحمت رسم یک شماتیک دقیق و وارد کردن نت لیست وجود داشته باشد، همین است. در طراحی های بزرگ، استفاده از نمایشگر لانه موشی ضروری است.

در نمایشگر لانه موشی، برنامه یک خط مستقیم بین جایگاه قطعه ها که در شماتیک بهم متصل شده اند رسم می کند (و نه مسیر آنرا). در نتیجه، اتصالات مدار شما را پیش از شروع به رسم مسیرها نشان می دهد. در آغاز آرایش برد شما، وقتی تمام قطعات بطور تصادفی روی برد قرار گرفته اند، در لانه موشی نمایشی از ماز بزرگ و پیچیده ای از خطوط تصادفی و بی نظم خواهید داشت. و بهمین خاطر به آن لانه موشی می گویند.

لانه موشی ممکن است در ابتدا وحشتناک بنظر برسد، اما با جایجایی هر قطعه این خطوط هم بطور خودکار با آن حرکت می کنند. بدین طریق شما فوراً و بدون اینکه مجبور باشید به شماتیک خود رجوع کنید و دائماً مرجع نشانگرهای قطعات را بخوانید، می فهمید که چه قطعه ای به کدام قطعات اتصال دارد. اگر فقط یکبار از این مشخصه استفاده کنید، دیگر هرگز بدون آن حاضر به کار نمی شوید. حتی وقتی که طراحی ساده با چند قطعه اندک انجام می دهید، نیاز به کارکرد فوق العاده آن پیدا می کنید.

وقتی نمایشگر لانه موشی فعال شود، می توانید همه قطعاتتان را بشکلی بهینه آرایش دهید، بدون آنکه نیاز باشد حتی یک مسیر رسم کنید. نمایشگر لانه موشی اتصالات مسیرهای شما را نشان می دهد. و زمانی که شروع به روتینگ مسیرهای بین قطعاتتان می کنید، خطوط لانه موشی یکی یکی ناپدید می شوند، و کم کم ظاهر لانه موشی شما ساده تر و ساده تر می شود. وقتی تمام خطوط لانه موشی ناپدید شوند، برد شما بطور کامل مسیرکشی شده است.

## چک کردن قانون طراحی<sup>۵۵</sup>

چک کردن قانون طراحی (DRC) به شما اجازه می‌دهد تا بکمک برنامه خودکار به کنترل اتصالات، فاصله، و بقیه خطاهای تولید در طرحهای برد مدار چاپی خود بپردازید. با هرچه پیچیده و بزرگتر شدن طرحهای برد مدار چاپی که امروزه کشیده می‌شوند، کنترل دستی یک طرح برد مدار چاپی غیر عملی است. در اینجا است که DRC بعنوان یک مرحله اساسی طراحی برد مدار چاپی حرفه‌ای بکار می‌آید.

نمونه‌هایی از آنچه که می‌توانید با DRC کنترل کنید عبارتند از:

- ◀ اتصالات مدار، DRC کنترل می‌کند که هر مسیر در برد شما با اتصالات شماتیک هماهنگ باشد.
  - ◀ فاصله الکتریکی. می‌توانید فاصله بین مسیرها، جاپایه‌ها، و قطعات را چک کنید.
  - ◀ خطاهای تولید برد مثل ماکزیمم و مینیمم اندازه سوراخها، عرض مسیرها، اندازه حلقه‌ها، و اتصال کوتاه‌ها.
- یک دوره کنترل قانون طراحی یا DRC کامل معمولاً پس از آنکه برد مدار چاپی را تمام کردید انجام می‌شود. اگرچه برخی نرم‌افزارها توانایی کنترل آن لاین (زمان واقعی) DRC را در همان زمان طراحی نیز دارند. بعنوان مثال، چنین برنامه‌ای به شما اجازه نمی‌دهد که یک مسیر را به جاپایی که به آن مربوط نیست وصل کنید، یا فاصله بین یک مسیر و جاپایه را خراب کنید. اگر امکانات DRC زمان واقعی را دارید، حتماً از آن استفاده کنید، ابزار بسیار باارزشی است.

## نامگذاری مستقیم و معکوس<sup>۵۶</sup>

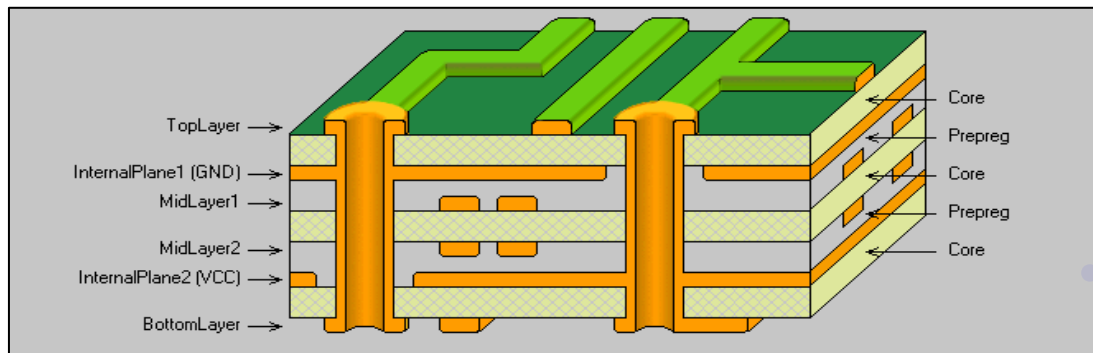
نامگذار مستقیم زمانی است که با استفاده از ویرایشگر شماتیک در آرایش برد مدار چاپی فعلی خود تغییراتی می‌دهید. برنامه، نت لیست شماتیک شما و نشانگرهای قطعات را دریافت و وارد طرح برد مدار چاپی شما می‌کند، و تغییرات مربوط را اعمال می‌کند. برخی نرم‌افزارها بطور خودکار مسیرهای قدیمی برد مدار چاپی را که دیگر به جایی اتصال ندارند پاک می‌کنند. می‌توانید این کار را در هر مرحله‌ای از آرایش برد مدار چاپی خود انجام دهید. اگر تغییری در شماتیک خود بدهید، ناچارید که تغییرات نامگذاری را مستقیماً وارد برد مدار چاپی‌تان کنید. می‌توانید چنین ویرایشهایی را بطور دستی انجام دهید، ولی گزینه نامگذاری مستقیم فرایند را بطور خودکار انجام می‌دهد.

نامگذاری معکوس زمانی است که یکی از نشانگرهای قطعات روی برد مدار چاپی را تغییر دهید (مثلاً C1 را به C2 تغییر دهید) و بعد این تغییرات را بخواهید دوباره و بطور خودکار شماتیک خود برگردانید. امکانات پیشرفته‌تر نامگذاری معکوس به شما اجازه می‌دهد تا گیت‌های تراشه‌ها را با هم جابه‌جا کنید و حتی و تغییرات الکتریکی دیگری را هم صورت دهید. اما هیچوقت نیاز آنچنانی به استفاده از نامگذاری معکوس وجود ندارد.

<sup>55</sup> DRC: Design Rule Checking

<sup>56</sup> Forward and Back Annotation

## طراحی چندلایه ۵۷



ساختمان یک نمونه برد مدار چاپی ۶ لایه

یک برد مدار چاپی چندلایه در مقایسه با یک برد یک‌سویه یا دوسویه به مراتب گرانتر و ساخت آن مشکلتر است، اما تراکم بیشتری برای مسیریابی پاور و مسیره‌های سیگنال ارائه می‌دهد. با امکان عبور مسیره‌ها از داخل برد، می‌توانید قطعاتتان را با فشردگی بیشتری روی برد بچینید تا طرحی فشرده‌تر داشته باشید.

تصمیم‌گیری انتخاب برد چندلایه بجای دولایه می‌تواند تصمیم بزرگی باشد، پس مطمئن شوید که برد چندلایه به نسبت اندازه برد و پیچیدگی آن قابل قبول باشد. برای استفاده شخصی می‌توانید از برد چندلایه صرف‌نظر کنید، چرا که لازمه آن تولید تجاری است. بیشتر تهیه‌کنندگان بردهای تفننی بسراغ بردهای چندلایه نمی‌روند.

بردهای چندلایه تعداد لایه‌های زوج دارند، که ۴، ۶ و ۸ لایه معمولترین آنهاست. البته می‌توانید لایه‌هایی بیش از این هم داشته باشید، اما این نوع بردها قلمرو مقاصد بسیار تخصصی است.

از نظر تکنیکی امکان داشتن و تولید تعداد لایه‌های فرد، مثلاً برد سه لایه هم وجود دارد. اما واقعا در مقایسه با برد چهارلایه هیچ صرفه اقتصادی برای شما ندارد. در واقع ساخت یک برد سه لایه حتی می‌تواند گرانتر از یک برد چهارلایه باشد، چون مستلزم فرایند تولیدی غیراستاندارد می‌شود.

اگر تصمیم دارید برد چندلایه بسازید، مطمئن شوید که از همه لایه‌های خود استفاده کنید، هیچ امتیازی در خالی گذاشتن کامل یک لایه وجود ندارد.

در یک برد چندلایه، شما می‌توانید مثلاً یک لایه کامل را به صفحه زمین، و دیگری را به پاور (قدرت) اختصاص دهید، و شاید بتوان در صورت نیاز چند مسیر سیگنال هم در لایه پاور کشید. اگر برد شما تمام دیجیتال است، تمام لایه پاور را هم می‌توانید اختصاص دهید. اگر در لایه رویی یا زیری فضا دارید، می‌توانید تمام مسیره‌های پاور ریل<sup>۵۸</sup> اضافی را آنجا بکشید. لایه‌های پاور تقریباً همیشه در وسط برد قرار می‌گیرند، درحالی‌که زمین نزدیک به لایه رویی قرار می‌گیرد.

<sup>57</sup> Multi layer Design

<sup>58</sup> power rail

وقتی پاور را به دقت در لایه‌های میانی قرار دادید، خودتان از مقدار فضایی که برای مسیرهای سیگنال برایتان باز می‌شود تعجب خواهید کرد. واقعا یک بعد جدید برای روتینگ در اختیارتان قرار می‌گیرد!

اگر صفحات پاور قسمت حیاتی کارت‌ها هستند و باید اتصالات بسیاری را مسیریابی کنید، آنوقت می‌توانید از برد چهارلایه به سراغ برد شش لایه بروید. بردهای شش لایه، چهارلایه کامل برای روتینگ سیگنال‌ها، و دو لایه برای پاور در اختیارتان می‌گذارند. با شش لایه می‌توانید یک روتینگ پیشرفته داشته باشید. وضعیت در مورد بردهای هشت لایه و بیشتر هم به همین شکل است.

در بردهای چندلایه انتخاب‌های جدیدی مثل استفاده از انواع مختلف وایا پیش می‌آید که تراکم مسیرکشی شما را بیشتر می‌کند. سه نوع وایا وجود دارد: استاندارد، کور، و دفن‌شده<sup>۵۹</sup>.

وایاهای استاندارد از تمام برد عبور می‌کنند، می‌توانند هرچیزی را از لایه‌های رویی و زیری و میانی به هم متصل کنند. اما استفاده از وایای استاندارد در لایه‌های که بهم مرتبط نیستند هدر دادن فضا است.

وایاهای کور از سطح خارجی تنها به یکی از لایه‌های داخلی می‌رسند. و سوراخ از طرف دیگر برد بیرون نخواهد زد. در حقیقت این وایا در سر دیگر برد «کور» شده است.

وایاهای دفن شده تنها دو یا چند لایه داخلی را بهم وصل می‌کنند، و از خارج برد هیچ سوراخی پیدا نیست. در واقع سوراخ بطور کامل در داخل برد مدفون شده است. وایاهای «کور» و «دفن شده» به نسبت وایاهای استاندارد هزینه ساخت بیشتری برمی‌دارند. اما بسیار مفید هستند، و تقریبا برای هر طرح با تراکم بالا مثل آنهایی که قطعات BGA<sup>۶۰</sup> را شامل می‌شوند ضروری هستند.

## صفحات پاور<sup>۶۱</sup>

تجربه می‌گوید استفاده از صفحات پاور برای توزیع قدرت در سراسر برد کار مفیدی است. استفاده از صفحات پاور بطرز شدیدی اندکتانس و امپدانس حاصل از سیم‌کشی پاور بر روی قطعات را کم می‌کند. این مسئله بعنوان مثال برای طرحهای دیجیتال سرعت بالا حیاتی است. استفاده از صفحه پاور در هر جای ممکن توصیه طراحان مجرب است. این صفحه‌ها حتی می‌توانند در بردهای دوسویه استفاده شوند، اگر بیشتر مسیرهای سیگنال در لایه بالایی باشند.

یک صفحه پاور اصولا یک سطح پوشیده از مس در برد است که ریل‌های اختصاصی زمین یا ریل‌های پاور یا هر دو آنها را دارد، صفحات پاور در لایه‌های میانی برد شما قرار می‌گیرند و معمولا روی نزدیکترین لایه به سطوح خارجی برد هستند. در یک برد چهارلایه با الزامات پیچیده پاور معمول است که یک لایه را به صفحه پاور

<sup>59</sup> Standard, Blind, and Buried

<sup>60</sup> BGA: Ball Grid Array

<sup>61</sup> Power Planes

اختصاص دهید، و لایه دیگر را به مسیرهای پاور مختلف مثبت و منفی خود. ریل زمین معمولاً خط ارجاع سیگنال شماست. پس صفحه زمین قبل از پرداختن به صفحه پاور در ارجحیت قرار دارد.

بسیاری از نرم افزارهای برد مدار چاپی لایه‌های سطح منبع مخصوصی دارند که در عکس جهت بقیه لایه‌های معمولی مسیرکشی قرار می‌گیرند و طراحی می‌شوند. در یک لایه نرمال مسیرکشی، برد شما باید خالی فرض شود، و سپس شما مسیرهایی را می‌کشید که بعدها مسیرهای واقعی مسی شما می‌شوند. اما در یک صفحه پاور، لایه شما سراسر پوشیده از مس است و رسم کردن مسیر روی صفحه پاور در واقع برداشتن مس آن است. به مرور زمان به این هم عادت می‌کنید.

یک صفحه پاور ساده هیچ «مسیر» (یا تکه‌های حذف شده مسی) روی خود ندارد، بلکه تنها یک لایه ورقه تمام پوشیده از مس است. در هر حال شما نیازی به کشیدن هیچ مسیری به جهت برداشتن مس ندارید. با اینحال، معمولاً در بردهای پیچیده‌تر با رسم مسیرهایی صفحه پاور را به چند قسمت جدا می‌کنند. این کار مثلاً برای جدا کردن زمین دیجیتال و آنالوگ انجام می‌شود، که در نتیجه میزان نویز زمین دیجیتال را که در مدارهای حساس آنالوگ اضافه می‌شود کمتر می‌کند. یک صفحه پاور تقسیم شده نمونه، مسیرهایی را شامل می‌شود که از نزدیکی اتصال‌دهنده ورودی پاور شما یا خازن فیلتر اصلی تا لبه مخالف برد کشیده شده‌اند. مواظب باشید تا تصادفاً با اتصال سهوی دو نیمه صفحه در سر دیگر برد باعث لوپ پاور روی بردتان نشوید.

البته باید مسیرها را کاملاً در حدود لبه خارجی بردتان قرار دهید. این کار تضمین خواهد کرد که صفحات پاور دقیقاً تا لبه برد نخواهد آمد. صفحات پاور در لبه‌های برد شما نه تنها همدیگر را می‌توانند اتصال کوتاه کنند، بلکه هر ریل راهنما یا سخت‌افزار روی برد را هم اتصال کوتاه می‌کنند.

البته واقعاً نیازی به استفاده از لایه صفحه پاور در نرم‌افزار برد مدار چاپی‌تان ندارید، اگر نمی‌خواهید می‌توانید از یک لایه سیگنال معمولی استفاده کنید و خودتان سطوح مسی و مسیرهایتان را اضافه کنید. البته لایه‌های صفحه پاور اغلب مزایایی دارد که از نرم‌افزاری به نرم‌افزار برد مدار چاپی دیگر تفاوت می‌کند.

## ایجاد زمین خوب<sup>۶۲</sup>

ایجاد زمین در عملکرد بسیاری از مدارها از اهمیت بسیاری برخوردار است. تکنیکهای ایجاد زمین خوب یا بد می‌تواند طرحتان را بسازد یا خراب کند. تکنیکهای زمین مختلفی وجود دارد که می‌تواند هر طرحی را به نتیجه خوب برساند.

◀ از مس زیاد استفاده کنید. هرچه مس در مسیر زمین شما بیشتر باشد، امپدانس پایینتر است. به دلایل الکتریکی بسیار این امری مطلوب است. از سطوح چندضلعی برای پر کردن و روی صفحه در جایی که می‌توانید استفاده کنید.

<sup>62</sup> Good Grounding

- ◀ همیشه یکی از صفحه‌های خود را در بردهای چندلایه به زمین اختصاص دهید. این لایه را نزدیکترین به لایه رویی بگذارید.
- ◀ در قسمت‌های حساس مدار خود، مسیرهای زمین را بطور جداگانه تا خازنهای فیلتر اصلی بکشید، این کار را «ایجاد زمین ستاره‌ای» می‌گویند. چون مسیرهای زمین همگی از یک نقطه مرکزی دور می‌شوند، و معمولاً شکل یک ستاره می‌شوند. در واقع، این را مثل یک قانون رعایت کنید، حتی اگر قطعات شما حساس هم نباشند. خطوط جداگانه زمین، مانع تاثیرگذاری جریان و نویز یک قطعه بر روی قطعات دیگر می‌شوند.
- ◀ اگر از یک صفحه زمین استفاده می‌کنید، از تکنیک‌های جداسازی سطح برای ایجاد یک زمین ستاره‌ای موثر بهره بگیرید.
- ◀ نقاط مورد نیاز مونتاژ را مستقیم به سطح منبع بکشید<sup>۶۳</sup>. در جایی که لازم نیست طول مسیر را بیشتر نکنید.
- ◀ از وایاهای چندگانه برای کاهش امپدانس مسیر بر روی زمین استفاده کنید.

## بای پس خوب ۶۴

قطعات و نقاط فعال مدار شما که تغییر جریان قابل توجهی ایجاد می‌کنند باید همیشه بای پس شوند. این کار جهت صاف و هموار کردن ریل پاور شماست که به سمت قطعه خاصی می‌رود. «بای پس» عبارت است از استفاده از یک خازن در عرض پاور ریل‌های شما که تا جای ممکن از نظر فیزیکی و الکتریکی به قطعه یا نقطه مورد نظر روی برد شما نزدیک باشد. ارزش یک خازن بای پس نمونه ۱۰۰ nF است، اگرچه ارزشهای دیگری چون ۱ uF، ۱۰ nF و ۱ nF هم اغلب برای بای پس فرکانس‌های مختلف استفاده می‌شوند. حتی می‌توانید از چند خازن با ارزشهای متفاوت در کنار هم استفاده کنید.

در زمان بای پس، نمی‌توانید خازنهای چندگانه را با یک خازن جایگزین کنید، چون تمام هدف بای پس را از بین می‌برد! در طرح‌های بزرگ غیر معمول نیست که صدها خازن بای پس استفاده شود.

در قانونی کلی، در صورت امکان باید حداقل یک خازن بای پس برای هر IC یا هر قطعه سوئیچ دیگر بکار برد. ارزشهای معمول خازنهای بای پس ۱۰۰ nF جهت استفاده‌های عمومی، ۱۰ یا ۱ nF برای فرکانسهای بالاتر، و ۱ یا ۱۰ uF برای فرکانسهای پایین است.

خازنهای ESR<sup>۶۵</sup> مخصوص گاهی در طرح‌های حساس مثل منبع تغذیه‌های «مد سوئیچ» مورد استفاده قرار می‌گیرند.

<sup>۶۳</sup> stitch

<sup>۶۴</sup> Good Bypassing

<sup>۶۵</sup> ESR: Equivalent Series Resistance



## تکنیکهای طراحی فرکانس بالا<sup>۶۶</sup>

طراحی فرکانس بالا در جایی نیاز است که باز تأثیرات اندکناحس پارازیتی، کاپاسیتانس، و امپدانس آرایش برد مدار چاپی خود را لحاظ کنید. اگر سیگنال شما سریع است، و مسیرتان خیلی طولانی است، آنوقت مسیرتان می‌تواند کیفیت یک خط فرستنده را پیدا کند. اگر از تکنیکهای مناسب خط فرستنده در چنین مواقعی استفاده نکنید، مشکل انعکاس و سایر مسائل درستی سیگنال آغاز می‌شود.

مسیر با «طول بحرانی» مسیری است که در آن زمان انتشار سیگنال به طول مسیر نزدیک می‌شود. در بردهای مسی استاندارد FR4، سیگنال در هر یک نانوثانیه حدود ۶ اینچ حرکت می‌کند. قانونی کلی می‌گوید که وقتی طول مسیر شما به نصف این رقم نزدیک می‌شود، باید حواستان جمع شود. اما در واقعیت این رقم می‌تواند خیلی کمتر از این باشد. به یاد داشته باشید که سیگنالهای دیجیتال موج مربع دارای محتویات هارمونیک هستند، و بنابراین یک موج ۱۰۰ مگاهرتزی می‌تواند قطعات سیگنالی را داشته باشد که از محدوده گیگاهرتز فراتر می‌روند.

در طراحی سرعت بالا، صفحه زمین در حفظ درستی و تمامیت سیگنالهای شما ضروری است، و همچنین برای کاهش انتشار EMI این به شما اجازه می‌دهد تا مسیرهایی با امپدانس کنترل شده ایجاد کنید، که با منبع و بار الکتریکی شما هماهنگ باشند. همچنین به شما اجازه می‌دهد که سیگنالها را با مسیر بازگشتشان همراه کند.

راههای بسیاری برای ایجاد امپدانس کنترل شده خطوط ارسال در برد مدار چاپی وجود دارد. اما دو راه اصلی و پرتعداد عبارتند از میکرواستریپ<sup>۶۷</sup> و استریپ‌لاین<sup>۶۸</sup>.

میکرواستریپ همان مسیر روی لایه بالایی است که صفحه زمین در زیرش قرار دارد. محاسبات لازم برای پیدا کردن امپدانس خصیصه یک میکرواستریپ نسبتاً پیچیده است. بر اساس عرض و ضخامت مسیر، ارتفاع بالاتر از صفحه زمین، و ثابت دی‌الکتریک<sup>۶۹</sup> نسبی جنس برد مدار چاپی محاسبه شود. به همین دلیل است که حفظ صفحه زمین در نزدیکترین جای ممکن به لایه بالایی اهمیت بسیار دارد.

استریپ‌لاین شبیه میکرواستریپ است، اما یک صفحه زمین اضافی بر روی مسیر دارد. پس در چنین حالتی، مسیر باید بر روی یکی از لایه های داخلی باشد. مزیت استریپ‌لاین بر میکرواستریپ در آن است که بیشتر تابش EMI در صفحات زمین محصور و محدود می‌ماند.

برنامه‌ها و صفحات گسترده رایگان بسیاری در دسترس هستند که تمام این تغییرات میکرواستریپ و استریپ‌لاین را برای شما محاسبه می‌کنند.

برخی از اطلاعات مفید و قوانین سرانگشتی برای طرحهای فرکانس بالا در ادامه می‌آیند:

<sup>۶۶</sup> High Frequency Design Techniques

<sup>۶۷</sup> Microstrip

<sup>۶۸</sup> Stripline

<sup>۶۹</sup> permittivity

سیگنال فرکانس بالا را تا آنجا که ممکن است کوتاه نگهدارید.  
 از آوردن مسیرهای فرکانس بالای بحرانی در کنار فیوزهای خودکار<sup>۷۰</sup> در صفحه زمین پرهیز کنید. این موجب قطع اتصال در مسیر بازگشت سیگنال می‌شود و مشکلات EMI ایجاد می‌کند. تا آنجا که می‌شود از فیوزهای خودکار بر روی صفحه زمین خودداری کنید. یک فیوز با صفحه دونیم شده تفاوت دارد، که خوب است، به این شرط که مسیرهای سیگنال فرکانس بالای خود را روی سطح متصل مربوطه نگهدارید.

برای هر پایه پاور یک خازن تجزیه داشته باشید.  
 در صورت امکان، پایه IC پاور را ابتدا به خازن بای‌پس وصل کنید، و بعد به صفحه پاور. این کار نویز سوئیچ را بر روی پاور کاهش می‌دهد. در طرحهای فرکانس بسیار بالا، وصل کردن مستقیم پایه پاور به صفحه پاور موجب اندک‌تانس کمتری می‌شود، که ممکن است سودمندتر از ایجاد نویز کمتر روی صفحه شما باشد.

دقت داشته باشید که وایاها موجب انقطاع در امپدانس ویژه خط ارسال خواهند شد.  
 برای به حداقل رساندن کراس‌تاک<sup>۷۱</sup> بین دو مسیر بالای یک صفحه زمین، فاصله بین صفحه و مسیر را به حداقل، و فاصله بین دو مسیر را به حداکثر برسانید. ضریب جفتگری دو مسیر با رابطه

$$1 - \frac{\text{فاصله بین مسیرها}}{\text{ارتفاع از صفحه}} \quad \text{محاسبه می‌شود.}$$

وایاهای با قطر کمتر اندک‌تانس پارازیتی کمتری دارند، و هرچه فرکانس شما بالاتر می‌رود، بیشتر به کار می‌آیند.  
 اتصال دهنده ورودی پاور اصلی خود را به صفحات پاور متصل نکنید، آنرا از خازن‌های فیلتر اصلی بگذرانید.

## بارگذاری دوسویه<sup>۷۲</sup>

گذاشتن قطعات در هر دو طرف یک برد مدار چاپی مزایای بسیاری دارد. در حقیقت، این کار در آرایش برد دارد به گزینه‌ای محبوب و لازم تبدیل می‌شود. دو فاکتور اصلی و مهم پشت این تصمیم وجود دارد. اول اندازه برد است. اگر نیاز به اندازه برد مشخصی دارید و همه قطعات شما در یک طرف برد جا نمی‌گیرد، بارگذاری دو طرفه راه بدیهی حل مشکل است. دلیل دوم آنکه جوابگوی ضروریات الکتریکی خاص است. این روزها اغلب با قطعات SMD بسیار متراکم و سرعت بالا که روی برد سوار می‌شوند، یا جایی برای خازنهای بای‌پس مورد نیاز نمی‌ماند، یا اینکه نمی‌توان آنها را به اندازه کافی نزدیک قطعه گذاشت تا تاثیرگذار باشند. قطعات BGA<sup>۷۳</sup> از نمونه قطعاتی هستند که می‌توان با آنها خازنهای بای‌پس را در ته برد قرار داد.

<sup>70</sup> Cutouts

<sup>71</sup> Crosstalk

<sup>72</sup> Double Sided Loading

<sup>73</sup> BGA: Ball Grid Array

در حقیقت، معمول آن است که روی بردهای بارگذاری شده دوسویه فقط خازنهای بای پس دیده می‌شوند که پشت برد سوار شده‌اند. این به خازن بای پس اجازه می‌دهد که تا آنجا که می‌تواند به پایه پاور قطعه مربوطه نزدیک شود.

مطمئن شوید که اسمبلر برد مدار چاپی خود را در طول طراحی بردتان فعال و درگیر کار کنید. باید‌ها و نبایدهای بسیاری وجود دارد که در بارگذاری دوسویه برد لحاظ کنید.

## مسیریابی خودکار ۷۴

قدیمترها می‌گفتند: «طراحان برد مدار چاپی واقعی هیچوقت اتوروت نمی‌کنند!» درحالی‌که هنوز بسیاری ادعای صحت این جمله را دارند، واقعیت چیز دیگریست، و حتما زمانی می‌رسد که نیاز دارید بسراغ استفاده از مسیریاب خودکار بروید.

مسیریابی خودکار فرایند استفاده از نرم‌افزار طراحی برد مدار چاپی برای کشیدن اتوماتیک مسیره‌های شماست. حتی اگر به آن اجازه دهید، می‌کوشد همه برد شما را مسیرکشی کند. بیشتر نرم‌افزارهای برد مدار چاپی متوسط به بالا این کار را می‌کنند، و تکنولوژی و ثنوری پشت مسیریابی خودکار می‌تواند دیوانه‌کننده باشد. هوش مصنوعی و تکنولوژی عصبا امروزه کلماتی هستند که در بازار سر زبانهاست!

اگر برنامه برد مدار چاپی بتواند برد را برای شما مسیریابی کند، دیگر چرا نباید همیشه از همان استفاده کرد؟ آیا نمی‌تواند فرایندهایی اجباری مثل کشیدن مسیره‌ها را بطور اتوماتیک انجام دهد؟

پاسخ به این سوال می‌تواند مختلف و پیچیده باشد، اما هرچقدر هم که یک مسیریاب خودکار هوشمند باشد، نمی‌تواند جای یک طراح خوب انسان را بگیرد. مثل این است که از برنامه‌ای کامپیوتری بخواهید برای شما نقاشی کند. اگر اطلاعات کافی به آن بدهید، ممکن است بتواند چیزی منطقی تولید کند، ولی هیچوقت هنری نیست، و هرگز مونالیزا نمی‌شود.

بسیاری فکر می‌کنند که مسیریابهای خودکار ابزاری هستند برای طراحان برد مدار چاپی نه چندان باتجربه. در حقیقت، خلاف آن صحیح است. در دستان یک طراح بی تجربه، مسیریاب خودکار فقط کثیف کاری می‌کند. اما در دستان یک طراح بسیار مجرب، مسیریاب می‌تواند نتایج عالی و خیلی سریعتر از یک طراح انسان ارائه بدهد.

مسیریابهای خودکار زمانی به کار می‌آیند که بردهای پیچیده با فضای مسیرکشی خیلی کم دارید، و در قسمتهای غیر حساس طرحتان هستید. قسمتهای غیرحساس برد می‌تواند، به عنوان چند مثال، شامل سیگنالهای کنترل استاتیک یا فرکانس پایین به قطعاتی مثل نمایشگرهای LED، سوئیچ‌ها، و رله‌ها باشند. مسیریابهای خودکار پیشرفته مجهز به ابزارهایی هستند که به شما اجازه می‌دهد مشخص کنید دقیقا با هر مسیر چه می‌خواهید بکنید، انگار خودتان می‌خواستید رسمش کنید.

هیچوقت به مسیر یاب خودکار اجازه ندهید همه‌ی بردتان را مسیریابی کند، که خرابش خواهد کرد. اما اگر به آن اجازه دهید در محدوده غیر حساس بردتان کار کند، به نتایج عالی خواهید رسید. که گاهی قابل تشخیص از مسیریابی دستی نیست. حتی می‌توانید یک اتصال مشخص را مسیریابی خودکار کنید و این گاهی که شما مشکل پیدا کردن فضا برای فاز آخر طرحتان را دارید، به کار می‌آید.

مگر زمانی که در طراحی برد مدار چاپی بسیار باتجربه شده‌اید، از مسیریابهای خودکار دوری کنید. اما اینهم کافی نیست. طراحان واقعی اتوروت نمی‌کنند!

## چیدمان خودکار<sup>۷۵</sup>

ابزارهای چیدمان خودکار در بسیاری از نرم افزارهای برد مدار چاپی پیشرفته قابل دسترسند. طراحان حرفه‌ای برد مدار چاپی از این ابزارها استفاده نمی‌کنند. چون خیلی ساده است. هیچوقت برای انتخاب بهینه‌ترین آرایش قطعات بر چیدمان خودکار تکیه نکنید. صرفنظر از اینکه چه نرم افزاری در دست است، این روش هرگز جواب نمی‌دهد - مگر زمانی که بردی بسیار ساده داشته باشید.

این ابزارها با این وجود یک کارکرد مفید دارند، به شما یک راه ساده برای پخش کردن اولیه قطعات روی برد شما می‌دهند.

## طراحی برای تولید

### پانلیزاسیون<sup>۷۶</sup>

اگر بدنبال آن هستید که برد خود را با یک ماشین خودکار چیدمان قطعات (pick and place) اسمبل کنید، صرفه در آن است که هرچندتا برد بیشتری را که می‌توانید در یک «پانل» جا دهید. پانل در واقع یک برد مدار چاپی بسیار بزرگ است که شامل تعداد زیادی از کپی‌های یکسان برد شماست. قرار دادن یک برد در ماشین جاگذاری خودکار زمان بر است، پس هرچه تعداد بردهای بیشتری را بتوانید در هر سری جاگذاری کنید، تولید شما کم هزینه‌تر خواهد شد.

پانل همچنین در بالا و پایین شامل نوارهای ابزار (tooling strips) است، که راه‌اندازی خودکار پانل را موجب می‌شود. ماکزیمم اندازه پانل ممکن است برای تولیدکننده‌های مختلف متفاوت باشد.

هر تک برد را می‌توان بطور جداگانه پیاده کرد<sup>۷۷</sup> و بعد با breakout tabs به بقیه پیوست، یا اینکه همه را همزمان مرتب و با ابزار (V groove) تولید کرد. V groove یا شیار V شکل عبارت است از خط شیاری که روی بردتان

<sup>75</sup> Auto Placement

<sup>76</sup> Panelisation

<sup>77</sup> "Rout out"

قرار می‌گیرد و به شما اجازه می‌دهد براحتی برد را در طول شیار ثابت نگهدارید یا به عبارتی «اسنپ» کنید. Breakout tab نیز نواره باریکی از برد شما با حدود ۵ تا ۱۰ میلی متر طول است که برد شما را به پانل وصل می‌کند. سوراخهای کوچک فلزاندود نشده هم در همین باریکه دریل می‌شوند، که بعدها به شما اجازه می‌دهد پس از اسمبل برد براحتی آنرا به پانل متصل نگهداشته یا از آن جدا کنید.

برای تصمیم‌گیری درباره ملزومات و اندازه مطلوب پانل با تولیدکننده و بارگذارنده برد مشورت کنید.

## نوارهای تجهیز یا Tooling Strips

نوارهای تجهیز عبارتند از باریکه‌هایی از برد خالی از رویی‌ترین تا پایین‌ترین طرف برد. این باریکه‌ها شامل سوراخهای مورد نیاز ابزار، برجسب‌های اطمینان، و بقیه اطلاعات مربوط به تولید مورد نیاز است.

برای پرداخت خودکار برد شما به سوراخهای ابزار استاندارد نیاز است. ۲/۴ و ۳/۲ میلی‌متر از اندازه‌های استاندارد این سوراخها هستند. چهار نوار ابزار هرکدام در یک گوشه برای هر یک پانل کفایت می‌کند.

این نوارهای تجهیز از طریق breakout tabs یا V grooves به برد شما متصل می‌شوند.

## نشان‌های اطمینان ۷۸

نشان‌های اطمینان راهنماهای بصری همترازی هستند که روی برد مدار چاپی شما قرار می‌گیرند. ماشینهای جاگذاری خودکار از این نشانها برای تراز برد و یافتن نقاط مرجع استفاده می‌کنند. یک دوربین ویدئویی روی ماشین مرکز این نشانهای اطمینان را تشخیص داده و این نقاط بعنوان مرجع استفاده می‌کند.

بر روی هر پانل باید سه نشان اطمینان باشد، که به آنها اطمینان کروی گویند و در گوشه‌های پایین چپ/راست و گوشه چپ بالا قرار می‌گیرند. این نشانها باید حداقل ۵ میلی‌متر از لبه‌های برد فاصله داشته باشند و روی نوارهای ابزار پیاده می‌شوند.

نشان اطمینان بشکل پد مدوری است که بر روی لایه مسی به قطر معمول ۱/۵ میلی‌متر قرار می‌گیرد. نشان نباید با ماسک لحیم پوشیده شود، و لحیم باید تا فاصله حداقل ۳ میلی‌متر در اطراف برداشته شود. پد می‌تواند مس لخت باشد یا مثل یک پد معمولی مس‌اندود شده باشد.

دو نشان اطمینان محلی نیز (در دو طرف مقابل) کناره‌های هر قطعه SMD تزریقی ظریف روی برد مورد نیاز است.

## آزادسازی گرمایی<sup>۷۹</sup>

اگر جایایه یک SMD را به محدوده بزرگی از مس متصل کنید، ناحیه مسی مثل یک سینک حرارتی بسیار موثر عمل خواهد کرد. این کار گرما را در زمان لحیم کاری از پد دور می‌کند. این کار می‌تواند موجب اتصالات خشک و سایر مشکلات مربوط به لحیم می‌شود. در چنین شرایطی، یک اتصال آزادسازی گرمایی، که متشکل از چندین مسیر کوچکتر (معمولا ۴) است که پد را به صفحه مس وصل می‌کنند مشکل را حل می‌کند. گزینه های آزادسازی گرمایی می‌تواند در بسیاری از نرم افزارها بشکل خودکار فعال شود.

## لحیم کاری<sup>۸۰</sup>

مسائل مربوط به لحیم کاری باید زمان چیش برد لحاظ شود.

سه تکنیک اصلی لحیم کاری وجود دارد - دستی، خیزابی و رفلو<sup>۸۱</sup>.

لحیم کاری دستی روشی سنتی است که معمولا برای نمونه‌های اولیه و تولیدات کوچک بکار می‌رود. ملاحظات اصلی بهنگام آرایش برد عبارتند از دسترسی مناسب به هویه، آزادسازی گرمایی برای پدها. در بردهای دوسویه بدون روکش باید فضای کافی برای حرکت هویه به پدهای رویی لحاظ شود.

لحیم کاری خیزابی فرایند رایجی برای لحیم کاری قطعات سوار بر سطح و یا سوراخهای فلزاندود است، که شامل عبور تمام برد از روی حمام لحیم گداخته است. در این روش استفاده از ماسک لحیم جهت ممانعت از اتصال کوتاه ضروری است. نکته اصلی که لحاظ آن در طراحی ضروری است، آن که قطعات کوچک نباید در «سایه» ی لحیم خیزابی قطعات بزرگتر قرار بگیرند. برد در یک جهت از ماشین حمام لحیم می‌گذرد، بنابراین در پشت قطعات بزرگتر لحیم نمی‌نشیند. قطعات SMD پیش از لحیم خیزابی توسط چسب روی برد محکم می‌شوند.

آخرین روش استفاده از لحیم رفلو است، که برای قطعات سوار بر سطح مناسب است. برد خالی ابتدا با لایه‌ای از خمیر ماسک لحیم که روی پدها ریخته پوشیده می‌شود (برای اینکار از «استنسیل» لحیم استفاده می‌کنند). سپس هر قطعه در جای خود قرار می‌گیرد، و گاهی هم با چسب در جای خود محکم می‌شود. بعد تمام برد در یک اجاق مادون قرمز یا نیتروژن جاگرفته و «پخته» می‌شود. خمیر لحیم روی پدها و اتصالات قطعات ذوب (رفلو) می‌شود تا اتصالات را برقرار کند. روش جدیدتر رفلو با نام خمیر داخل پایه یا رفلوی نفوذگر<sup>۸۲</sup> نیز برای قطعاتی که داخل سوراخ می‌نشینند در دسترس است.

از ترکیب روش لحیم خیزابی و رفلو می‌توان برای بردهای مرکب از قطعات سوار بر سطح و قرارگیرنده در سوراخها استفاده کرد.

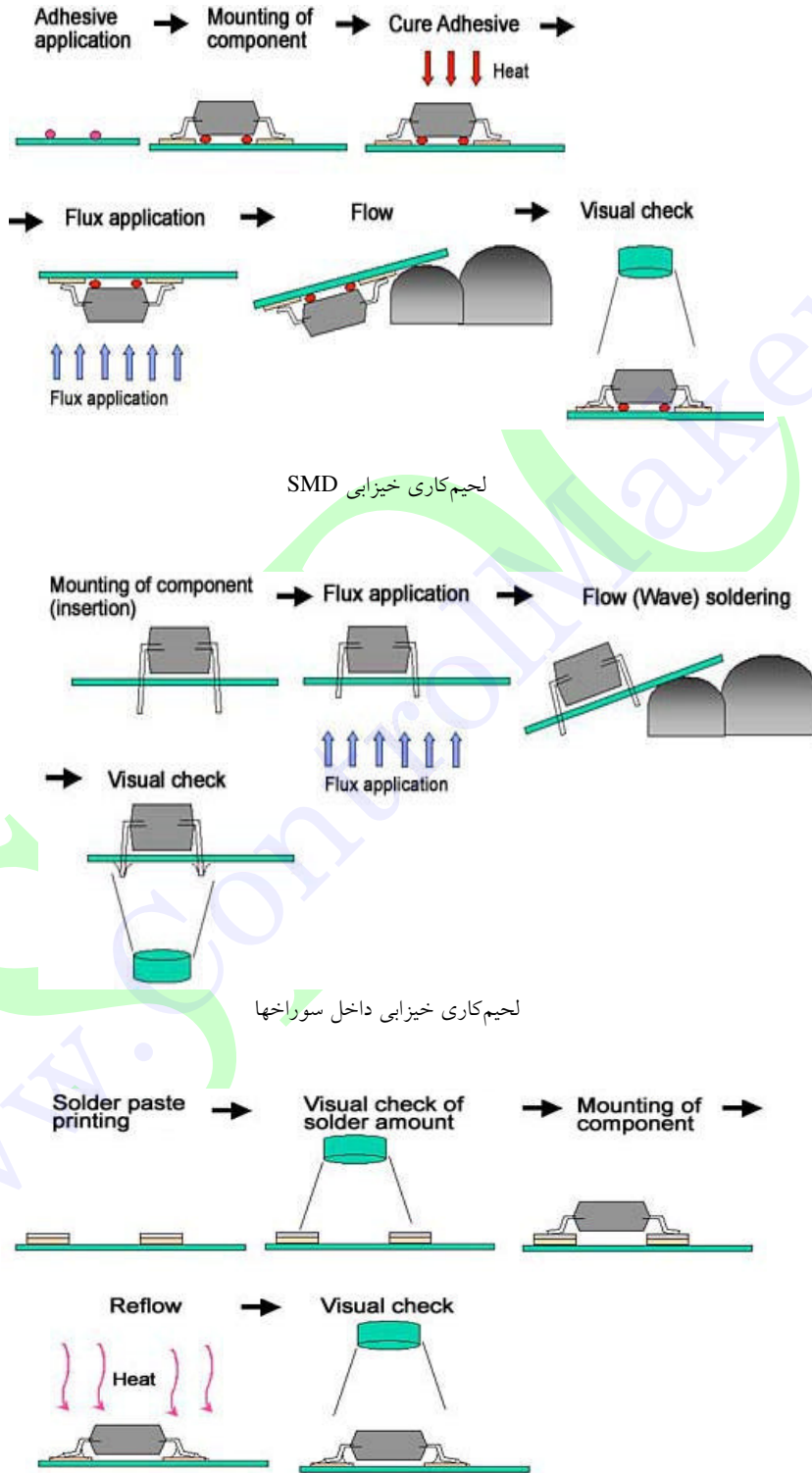
<sup>79</sup> Thermal Relief

<sup>80</sup> Soldering

<sup>81</sup> Hand, wave, and reflow

<sup>82</sup> Intrusive Reflow

مزیت لحیم خیزایی ارزان بودن آن، و نقطه ضعف آن محدودیتی است که بر چیدمان قطعات شما تحمیل می‌کند. لحیم کاری رفلو پیچیده‌تر و گرانتر است، اما در مورد قطعات فشرده روی برد خوب جواب می‌دهد.



لحیم کاری خیزایی SMD

لحیم کاری خیزایی داخل سوراخها

لحیم کاری رفلو SMD

## ساخت برد مدار چاپی اصلی

یک برد مدار چاپی معمولاً شامل یک زیرلایه فایبرگلاس خالی است (که همان برد است)، و معمولاً ۱/۶ میلی‌متر ضخامت دارد. ضخامتهای معمول دیگر عبارتند از ۱/۸ و ۲/۴ میلی‌متر. انواع مختلف جنس زیرلایه برد مدار چاپی وجود دارد، اما تاکنون رایج‌ترین آن جنس اپوکسی گلاس<sup>۸۳</sup> تافته استاندارد است که به FR4 معروف است. این جنس مشخصات استاندارد شناخته‌شده‌ای دارد، که ارزشهای نمونه آن در جدول ذیل آمده است.

پارامتری که بیش از همه بکار رفته است همان ثابت دی‌الکتریک<sup>۸۴</sup> است. این رقم در محاسبه پارامترهای خطوط انتقال سرعت بالا و اثرات دیگر از اهمیت بسیار برخوردار است. یک برد مدار چاپی FR4 از شیشه (گلاس) و رزین ساخته شده است. شیشه ثابت دی‌الکتریک حدود ۶ دارد، و رزین ضریب دی‌الکتریک حدود ۳. بنابراین در یک برد مدار چاپی FR4 نوسان این رقم از کمتر از ۴ تا حدود ۵ می‌باشد. اگر رقم دقیق می‌خواهید باید با سازنده برد مدار چاپی خود مشورت کنید.

مشخصات یک نمونه FR4:

ثابت دی‌الکتریک	۳/۹ تا ۴/۸
شکست دی‌الکتریک	۳۹ kV/mm
جذب آب	< ۱/۳ %
فاکتور گسترش	۰/۰۲۲
گسترش گرمایی	۱۹-۱۶ ppm/degC

توجه: این ارزشها می‌تواند بسته به سازنده تغییر کند، برای ارقام دقیق با تهیه کننده خود هماهنگ کنید.

سایر مواد نامتعارف پایه مثل تفلون هم موجود هستند، ولی تنها در طرحهای مخصوصی که نیاز به مواد درجه بالاتر برای دلایل خاص دارند استفاده می‌شوند. مواد ارزاتر از FR4 وجود دارند، مثل مواد پایه فنولیک و CEM-1. اینها بیشتر بردهای تفننی هستند، اما بعضاً به خاطر قیمت پایینشان در محصولات با مصرف انبوه بکار گرفته می‌شوند. این مواد برای سوراخهای فلزاندود یا طرحهای با تولرانس پایین مناسب نیستند.

ماده اولیه خالی پوشیده از مس به برد مس اندود معروف است.

برد چندلایه از بردهای مختلف تشکیل شده است که بوسیله لایه‌های PBL<sup>۸۵</sup> که به «پریپرگ»<sup>۸۶</sup> هم معروفند از هم جدا شده‌اند. راههای مختلفی برای روی هم انباشتن این لایه‌های برد وجود دارد، و هرکدام تعیین می‌کنند که باید با صفحه‌ها و وایاهای کور و دفن شده خود چه بکنید. با سازنده خود در خصوص توصیه‌هایش در این مورد مشورت کنید.

<sup>83</sup> Epoxy glass

<sup>84</sup> Dielectric constant

<sup>85</sup> Preimpregnated Bonding Layers

<sup>86</sup> “prepreg”



## اتمام سطوح

می‌توانید سطوح برد خود مدار چاپی خود را با انواع مختلف پد و مسیر بسازید.

بردهای یک رویه و دورویه کم هزینه بدون ماسک لحیم معمولاً پوشش خیلی نازکی می‌گیرند. در این روش مراقب احتمال شورتی بین مسیرها باشید.

در برد استاندارد که حرفه‌ای ساخته شود معمولاً روی مسیره‌های لخت مسی (SMOBC) ماسک لحیم می‌کشد، و یک لایه نازک پایانی روی پدها و وایاها که هوای داغ خورده است<sup>۸۷</sup>. عبور هوای داغ کمک می‌کند که بیشتر قطعات سوار بر سطح روی برد بخوابند.

در قطعات SMD بزرگ و حساس، یک «فلاش» نهایی از طلا روی پدها کشیده می‌شود. این کار نیز قطعات ظریف و متراکم را بخوبی روی سطح می‌نشانند.

ماسکهای لحیم قابل‌کندن هم موجودند، و در پوشش موقتی برخی نواحی روی برد در زمان لحیم کاری خیزایی یا پوشش دهنده‌های کلی به کار می‌آیند.

## تست الکتریکی

می‌توانید برد مدار چاپی تمام شده خود را در زمان تولید از نظر درستی اتصالات الکتریکی و اتصال کوتاه‌ها چک کنید. این کار توسط ماشین تست خودکار «کاوشگر سوزنی معلق»<sup>۸۸</sup> یا «بستر سوزنی»<sup>۸۹</sup> انجام می‌گیرد. این ماشین کنترل می‌کند که اتصالات مسیره‌های شما با فایل برد مدار چاپی شما هماهنگ باشد. ممکن است هزینه‌ای اضافی تحمیل کند، اما در بردهای چندلایه کاملاً ضروری است. اگر اشتباهی در یکی از لایه‌های داخلی برد ساخته شده شما باشد، درست کردن آن بسیار مشکل است.

## امضاء

مانند هر اثر هنری، هیچ بردی بدون نام و امضای شما کامل نیست!

امضا می‌تواند به هر شکلی که دوست دارید باشد. برخی افراد اسمشان، حروف اختصار، یا نشانه‌های فرضی می‌گذارند. هرچه که هست، دقت کنید که آنرا به برد اضافه کرده‌اید.

امضاء می‌تواند در هرکدام از لایه‌های مسی، یا حتی روی قطعات جاگذاشته قرار بگیرد.

<sup>87</sup> HAL: Hot Air Leveld

<sup>88</sup> “flying probe”

<sup>89</sup> “bed of nails”

## تحویل طرح برای تولید

اولین چیزی که باید بدانید این است که فایل برد مدار چاپی خود را به چه فرمتی ارسال کنید. در استرالیا فرمت استاندارد هر نسخه‌ای از پروتل است (مثل AutoTrax, PFW2.8,99SE,DXP). هر سازنده‌ای در استرالیا یک فایل پروتل را با خرسندی تحویل می‌گیرد. در حقیقت، برای ایشان فرمت پروتل در تحویل فایل ارجحیت دارد. بسیاری دیگر هم فایل‌های دیگر را هم خواهند پذیرفت، اما اول باید با آنها چک کنید. تهیه و ارائه فایل نرم‌افزاری اصلی از جانب شما تضمین می‌کند که آنچه روی صفحه می‌بینید همانی است که هنگام تحویل برد خواهید دید. مگر زمانی که دلیل قانع کننده‌ای دارید، از ارائه فایل خود در هر فرمت دیگری بپرهیزید.

فایل‌های گربر<sup>۹۰</sup> فرمت فایل سنتی و شناخته شده در صنعت هستند، و همه سازنده‌های اصلی آنها را می‌پذیرند. بسیاری از طراحان برد مدار چاپی هنوز هم در تهیه و تولید فایل‌های گربر اصرار دارند، تا بتوانند کنترل کاملی بر فرایند ساخت داشته باشند. تولید فایل‌های گربر بخاطر اشتباهاتی که ممکن است پیش بیاید، یک مرحله فرایند تولید برد مدار چاپی را پیچیده تر می‌کند. پس تا می‌توانید از تهیه فایل‌های گربر بپرهیز کنید، چون مگر زمانی که بدانید چگونه فایل درستی از آن خارج کنید فقط در دسر می‌سازد.

سازنده همچنین اطلاعات بسیار دیگری قبل از استفاده از فایل از شما خواهد خواست، از آنها بپرسید که چه اطلاعاتی را لازم است همراه فایل بفرستید. اینجا یک چک لیست اصلی ارائه شده است:

- ◀ کد مرجع و تجدیدنظرهای برد. این کار دنبال کردن فرایند پیشرفت کار را برای هر دو طرف آسانتر می‌کند.
- ◀ زمان مطلوب ساخت، که به «زمان برگشت» هم معروف است. ۲۴ ساعت خیلی بیشتر از ۲ هفته هزینه بر است!
- ◀ اندازه‌های کمی برد مورد نیاز
- ◀ ضخامت برد (۱/۶، ۰/۸، ۲/۴ میلی‌متر و غیره). استاندارد آن ۱/۶ میلی‌متر است.
- ◀ نوع برد (FR4, Teflon). FR4 استاندارد است.
- ◀ لایه روکار سطح (SMOBC, HAL, Gold Flash). استاندارد آن SMOBC و HAL است.
- ◀ می‌خواهید ماسک لحیم و مارکاژ قطعات به چه رنگی باشند.
- ◀ وزن مس (1oz, 2oz). استاندارد آن 1oz است.
- ◀ آیا تست الکتریکی می‌خواهید یا نه. این کار برای بردهای چندلایه ضروری است.
- ◀ فاصله مسیر/سطح برد شما.
- ◀ ابعاد برد شما چگونه تعریف می‌شوند. مثلاً، روی لایه مکانیکی.
- ◀ آیا می‌خواهید بردها «پانلیزه» شوند تا تک تک اجرا شوند.

<sup>90</sup> Gerber files

بسیاری از سازنده‌ها خدمات «نمونه اولیه» دارند که هر تعداد از برد شما را که بتوانند در یک «پانل» استاندارد جا می‌دهند، و برای همه‌اش قیمت ثابتی دارند.

در بسیاری موارد، از شما هزینه «تجهیز» هم می‌گیرند. این هزینه پرینت عکس لایه‌های برد شما، و همچنین تنظیم ماشین‌آلات ایشان است. این از جمله هزینه‌های یکباره است، و اگر بخواهید همین برد را دوباره تولید کنید، نیازی به پرداخت هزینه «تجهیز» ندارید.

به آخر آموزش رسیدیم.

باورتان می‌شود همه آنچه باید درباره طراحی برد مدار چاپی بدانید همین‌ها بود؟

اگر می‌گویید نه، درست فهمیده‌اید!

طرح برد مدار چاپی خوب نیازمند تجربه فراوان است، پس حالا بروید و بردتان را طراحی کنید.

روتینگ خوبی داشته باشید!

مراجع:

- ۱- راهنمای نرم افزار پروتل ۹۹
- ۲- راهنمای طراحی مدار چاپی نوشته دیوید. ال. جونز
- ۳- کتاب آموزش پروتل ۹۹ / کانون توسعه علوم

www.SPDControlMakers.ir