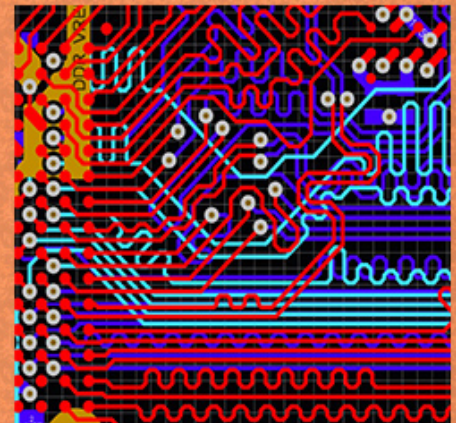
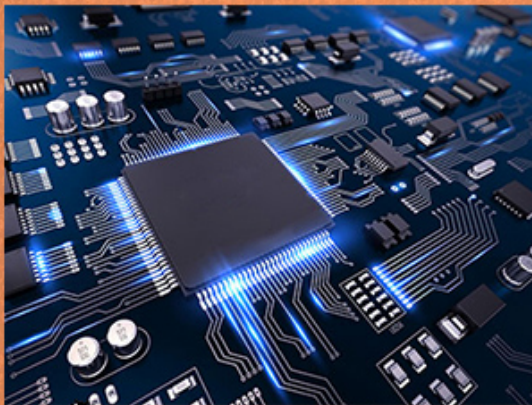




مرور و معرفی طراحی PCB های سرعت بالا (HIGH SPEED)

مرور و معرفی طراحی PCB های سرعت بالا (High Speed)



<https://blog.microele.com>

تاریخ انتشار ۱۵ خرداد، ۱۴۰۱ توسط سعید عسگری

سلام خدمت همه شما مایکروالکامی ها. در مطلب قبلی از **نکات طراحی PCB در آلتیوم دیزاینر (Altium Designer)** به استفاده از **سیگنال های دیجیتال در PCB دو لایه** پرداخته شد. در این مطلب مروری بر اصول و نکات طراحی PCB های سرعت بالا یا High Speed پرداخته خواهد شد. پس با من تا انتهای مطلب همراه باشید. همچنین شما میتونید سایر مطالب من رو از **این لینک** مطالعه و بررسی کنید.



مقدمه ای بر PCB های سرعت بالا

امروزه اکثر PCB های طراحی شده می‌توانند تحت تاثیر نوعی مشکل یکپارچگی سیگنال قرار گیرند که عموماً با طراحی های دیجیتال سرعت بالا مرتبط می‌باشند. طراحی PCB و برد های سرعت بالا مبتنی بر طراحی با کمترین اثر عدم یکپارچگی سیگنال، توان و مشکلات EMI/EMC می‌باشد. به بیانی دیگر، باید نکاتی را در یک طراحی در نظر گرفت تا PCB اصولی طراحی شود. در حالیکه می‌توان گفت هیچ طرح و PCB ای از این مشکلات عاری نیست سعی می‌شود در این مطلب به بیان این نکات پرداخته شود تا با رعایت آنها این مشکلات را تا حدی کاهش داده و باعث بروز مشکل در محصول نهایی نگردد.

برای مطالعه قسمت قبلی این مطلب، از این لینک اقدام فرمایید.

اصول ابتدایی طراحی یک PCB دیجیتال سرعت بالا

در ابتدا این سوال مطرح می‌شود که طراحی برد سرعت بالا چیست؟ طراحی PCB های High Speed عموماً به سیستم های اطلاق می‌شود که از سیگنال های دیجیتال پر سرعت برای انتقال و تبادل دیتا بین قطعات یا ماژول ها استفاده می‌کنند. اینکه بین یک طراحی دیجیتال با سرعت بالا و یک مدار ساده با سیگنال های دیجیتال سرعت پایین تر را تقسیم بندی کنیم کمی مبهم خواهد بود.

از همین رو معیار کلی برای نشان دادن یک سیستم خاص بعنوان PCB سرعت بالا، زمان صعود یا Rise Time سیگنال دیجیتال استفاده شده خواهد بود. اکثر طراحی ها و برد ها از سیگنال دیجیتال با زمان Tr بالا و یا پایین استفاده می‌کنند. پس بهترین حالت در نظر گرفتن Tr خواهد بود.

اگرچه همه طراحی ها از یک شماتیک آغاز می‌شوند اما بخش عمده و اصلی قضیه طراحی PCB آن پروژه خواهد بود. عمدتاً طراحی PCB سه بخش طراحی محل اتصالات یا قرارگیری قطعات، لایه بندی PCB یا PCB Stackup و روتینگ یا سیم کشی را دارا می‌باشد. در صورتی که در دو بخش اول موفق عمل کنیم، احتمال خیلی زیاد در بخش سوم نیز به درستی عمل خواهیم کرد.



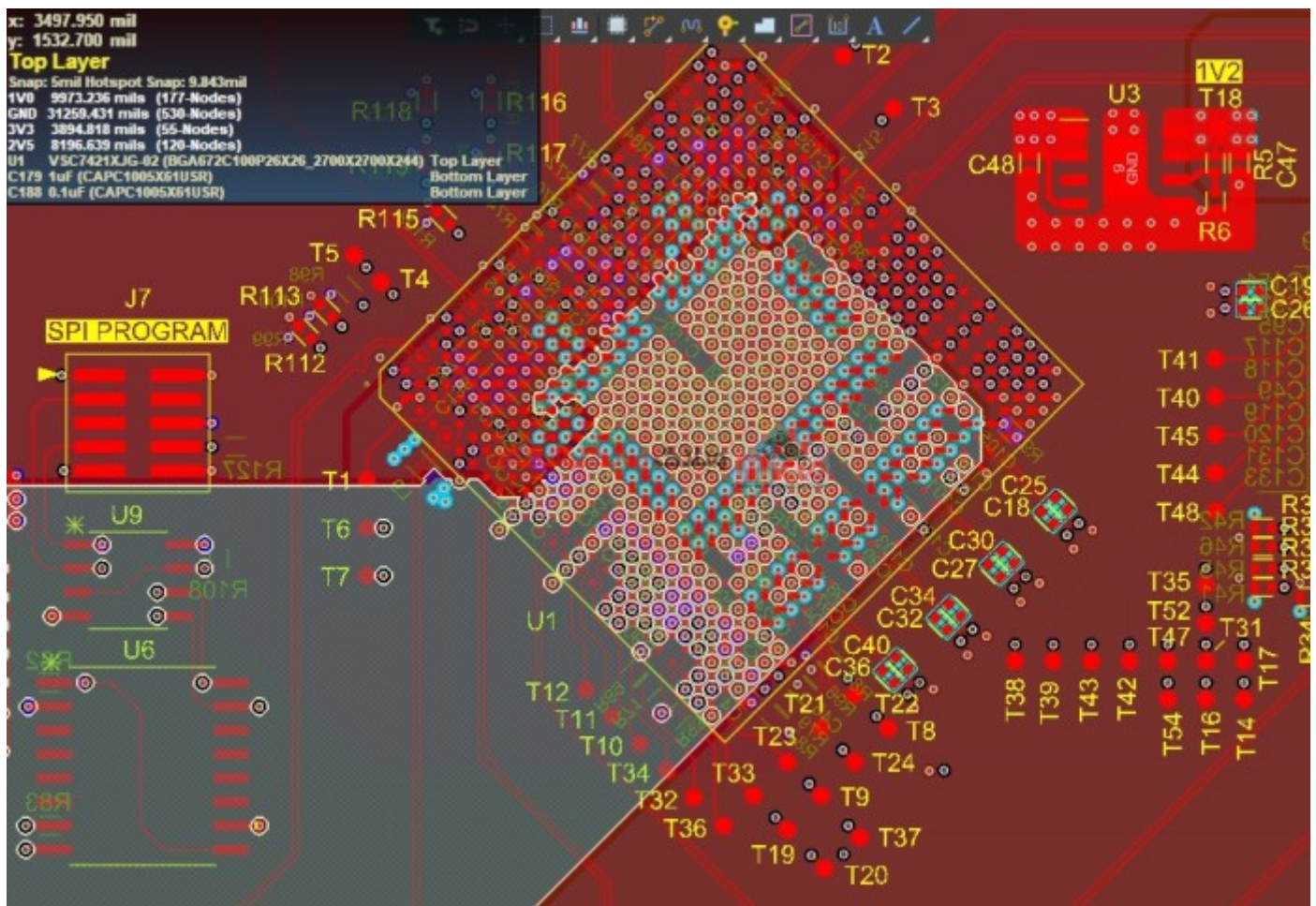
لایه ها و امپدانس در یک PCB سرعت بالا

محیط Stack up تنظیمات لایه دارای مجموعه لایه های اختصاص داده شده به سیگنال ها، تغذیه و زمین هستند. همچنین چندین نکته برای تخصیص لایه در یک Stack up وجود دارد که در زیر به آن اشاره شده است.

- **ابعاد برد و تعداد Net ها:** برد های بزرگتر دارای فضای کافی و بیشتری اند تا بدون افزایش لایه، کار طراحی را تمام کرد.
- **تراکم سیم ها و روتینگ:** در مواردی که تعداد Net ها زیاد باشد و ابعاد برد به یک سایز محدود ختم شود، ممکن است فضای زیادی برای روتینگ وجود نداشته باشد. بنابراین، مسیر سیم بر روی برد به یکدیگر نزدیک شده و به لایه های سیگنال داخلی بیشتری نیاز خواهیم داشت. ابعاد کوچک برد باعث افزایش تراکم روتینگ می شود.
- **تعداد اینترفیس و پروتکل ها:** گاهی بسته به ابعاد برد و عرض گذرگاه (سری یا موازی)، روتینگ و استفاده از یک یا 2 اینترفیس در هر لایه روش خوبی خواهد بود. استفاده از تمام سیگنال های دیجیتال با سرعت بالا فقط در یک لایه مشابه کار خوبی نیست و باعث از بین بردن تطبیق امپدانس و ایجاد موج های برگشتی در مسیر انتقال خواهد شد.
- **سیگنال های RF:** اگر سیگنال های دیجیتال سرعت بالا و RF در طراحی خود داریم، ممکن است نیاز به یک لایه جدید برای جلوگیری از اختلال و نویز بر آنها داشته باشیم.
- **یکپارچگی توان:** برای اینکار استفاده از یک لایه برای VCC و GND توصیه می شود.

جنس PCB، تعداد لایه ها و ضخامت در برد های High Speed

قبل از طراحی برد، بایستی تعداد لایه های مورد نیاز برای سیگنال های مورد نیاز خود را در نظر بگیریم. راه های مختلفی برای اینکار وجود دارد که نیاز به یکسری محاسبات و البته تجربیات قبلی در طراحی PCB های سرعت بالا دارد. علاوه بر نکاتی که پیشتر ذکر شد، IC های سرعت بالا با پکیج های BGA/LGA می توانند ابعاد برد را تغییر یا تعیین نمایند. هنگام انجام fanout برای BGA ها بطور کلی می توانیم 2 ردیف در هر لایه سیگنال قرار دهیم و مطمئن شویم که لایه های power یا تغذیه و GND را در تعداد لایه های خود در نظر گرفته ایم.



یک نمونه PCB سرعت بالا

PCB مدل/جنس FR4 می‌تواند در طراحی ه او PCB های دیجیتالی با سرعت بالا نیز استفاده شود. البته تا زمانی که مسیر های بین اجزای طرح خیلی طولانی نباشد. در صورتیکه مسیر طولانی تر شود، تلفات زیادی خواهیم داشت و ممکن است اجزا و ادوات انتهای خط انتقال نتواند سیگنال مورد نظر را دریافت نماید. اگر مسیر ها خیلی طولانی است ممکن است به برد هایی با لمینت های مبتنی بر PTFE، لمینت های شیشه ای پخش شده یا سایر مواد تخصصی نیاز پیدا نماییم. این دست جنس برد ها گزینه های خوبی برای PCB های دیجیتالی سرعت بالا اند تا تلفات در آنها کاهش یابد.



کنترل امپدانس در برد های High Speed

معمولا امپدانس با استفاده از یک فرمول یا محاسبه گر هایی در این خصوص محاسبه می شود. امپدانسی که در طراحی به آن نیاز داریم، ابعاد خط انتقال و فاصله تا لایه های تغذیه و GND نزدیک به آن را بیان می کند. پهنای خط انتقال را می توان با برخی از ابزار ها مانند زیر تعیین نمود.

- فرمول های IPC-2141 و Waddell: این فرمول ها نقطه شروعی برای تخمین امپدانس هستند و نتایج دقیقی را در فرکانس های پایین تر ایجاد می کنند.
- ابزار های حل کننده 2D/3D: این ابزار برای حل **معادلات ماکسول** در هندسه خط انتقالی که در طراحی و برد خود تعریف می کنیم استفاده می گردد.

استفاده از ابزار مدیریت لایه ها (Layer Stack Manager) در آلتیوم دیزاینر (Altium Designer) با حل کننده میدان دقیق نتیجه را به طراح ارائه می کند. هنگامی که این محاسبه انجام شد باید از آن در تعیین قوانین در طراحی استفاده کنیم تا مطمئن شویم امپدانس مسیر دقیقا همین موارد می باشد. برای دسترسی به این قسمت از تب Design در نرم افزار اقدام نمایید.



S50D90D100+🗑

	Top Ref	Bottom Ref	Width	Etch	Z	Z Deviation	TP
☒		2 - L2	124.168µm	3.7	49.9975Ω	0.005%	5.9346ns/m
☐		4 - L4		2.6		0%	
☒	2 - L2	4 - L4	81.553µm	2.6	50.0174Ω	0.035%	7.0365ns/m
☐	4 - L4	9 - L9	111.887µm	2.6		0.003%	
☐	4 - L4	9 - L9	185.166µm	2.6		0.02%	
☐	4 - L4	9 - L9	185.166µm	2.6		0.02%	
☐	4 - L4	9 - L9	111.887µm	2.6		0.003%	
☒	9 - L9	11 - L11	81.553µm	2.6	50.0174Ω	0.035%	7.0365ns/m
☐	9 - L9			2.6		0%	
☒	11 - L11		124.168µm	3.7	49.9975Ω	0.005%	5.9346ns/m

Properties

Layer Stack Manager

Q Search

Impedance Profile

Description

TypeSingle

Target Impedance50Ω

Target Tolerance5%

Transmission Line

H1 = 203.2µm
Er1 = 4.6
H2 = 96.52µm
Er2 = 4.3
T = 34.996µm
W1 = 81.553µm
W2 = 54.633µm

Simulated with SIMBEOR® software

Etch Factor2.6

Trace Width81.553µmfx

Calculated Impedance50.0174Ω

Impedance Deviation0.035%

Propagation Delay7.0365ns/m

Inductance p.u.l.351.9659nH/m

Capacitance p.u.l.140.6602pF/m

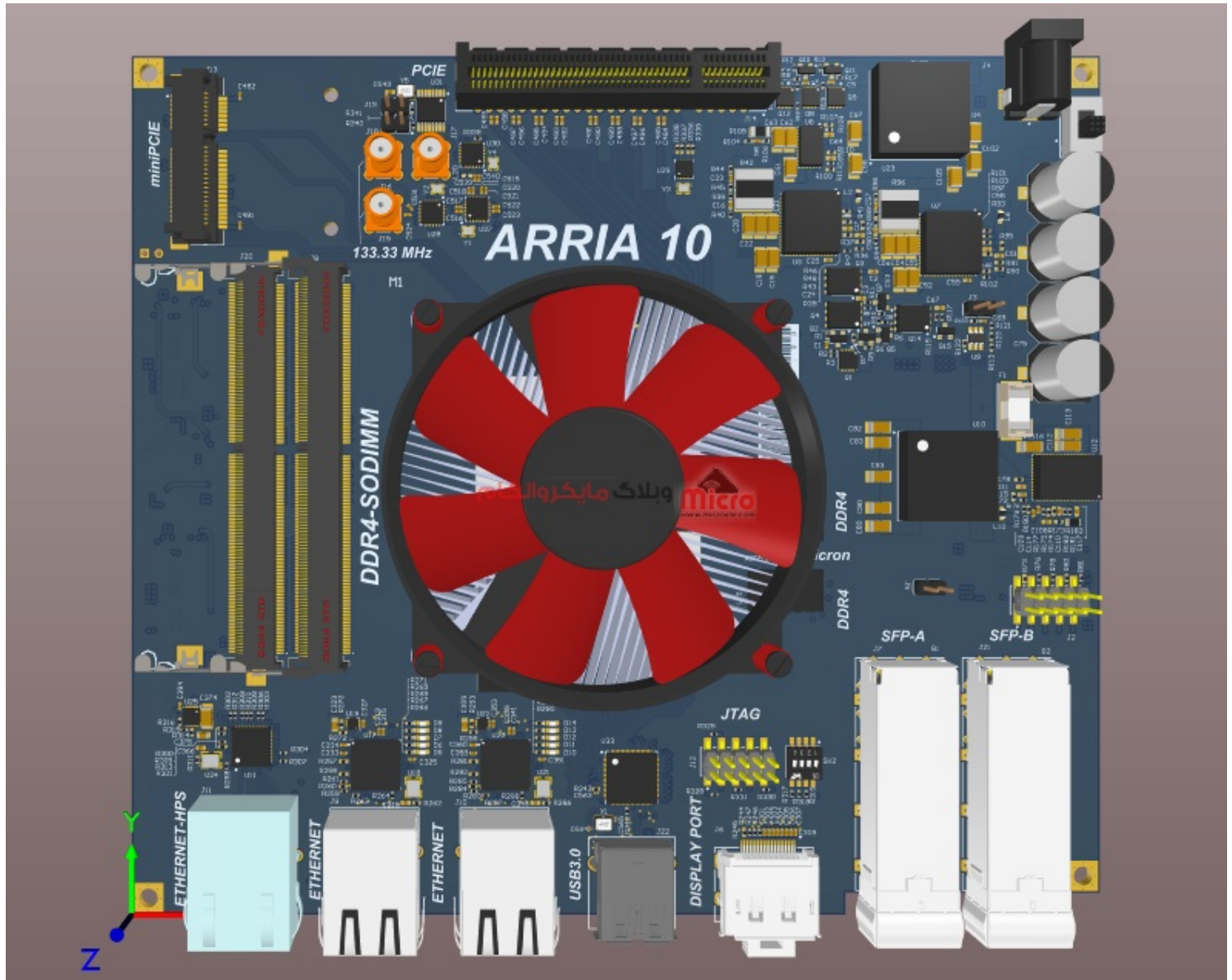
محاسبه امپدانس خط انتقال در PCB های سرعت بالا

نقشه کشی یک PCB سرعت بالا

قانون یا استاندارد خاصی برای اینکه قطعات را در برد High Speed کجا قرار دهیم وجود ندارد. بطور کلی، بهتر است قطعات بزرگتر مانند یک پردازنده یا FPGA را در وسط قرار دهیم. زیرا قرار است با سایر قطعات و قسمت های دیگر برد ارتباط برقرار نماید. IC ها و قطعات کوچکتر را که مستقیماً به پردازنده اصلی متصل می شوند را می توان در اطراف آن قرار داد تا مسیر کوتاه تر و مستقیم داشته باشد. در نهایت سایر اجزا و ادوات دیگر را در اطراف برد قرار داد تا به



عملکرد مورد نیاز دست یابیم.



یک برد کامل و نحوه چیش قطعات در طراحی PCB های High Speed

پس از این مورد با راه اندازی و تعریف قوانین و نکاتی که پیشتر ذکر شد می‌توان عملیات روتینگ و سیم کشی را آغاز کرد. این مرحله یک مرحله حساس و مهم است. چراکه اگر مسیر درست انتخاب نگردد یکپارچگی مسیر و سیگنال از بین خواهد رفت. با این حال، اگر مراحل قبلی درست انجام شود دسترسی به یکپارچگی سیگنال آسان خواهد بود. بایستی مشخصات امپدانس را در قوانین طراحی مشخص کنیم تا پهنا، طول و فاصله هر ترک از یکدیگر برای حفظ



امپدانس در طول فرایند سیم کشی رعایت شود.

بیشتر بدانید:

برد های High Speed یا سرعت بالا هنگامی که IC کنترل کننده اصلی در مرکز برد باشد و سایر قطعات سرعت بالا در اطراف آن قرار گیرند عملکرد بهتری خواهد داشت. زیرا مسیر ها به مراتب کوتاه تر و مستقیم خواهد بود. این یکی از دلایلی است مادر برد ها دارای یک پردازنده بزرگ در مرکز و سایر ادوات در اطراف آن می باشد.

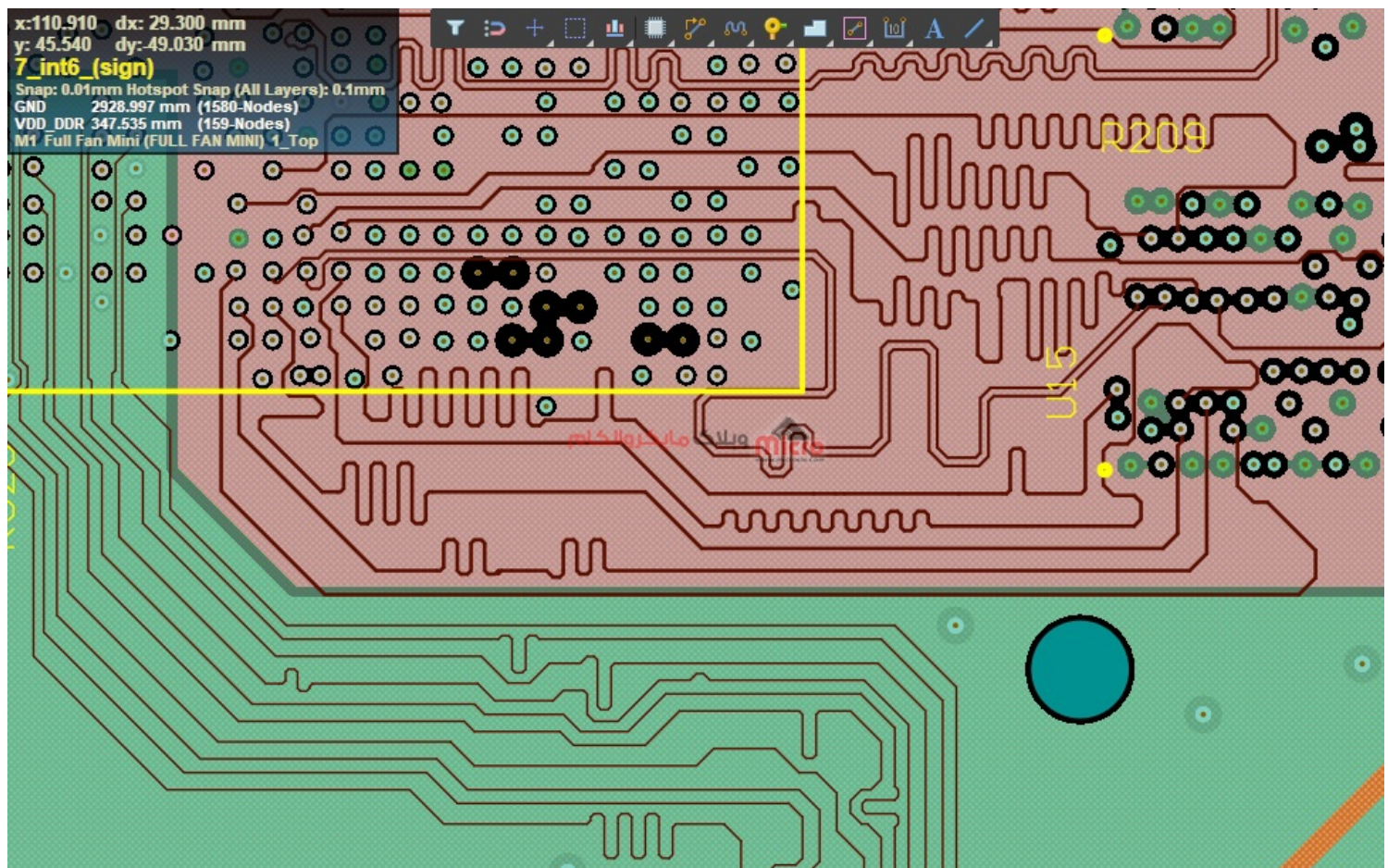
روتینگ، یکپارچگی سیگنال و توان

یکپارچگی سیگنال با یک مقدار امپدانس خاص و مشخص و حفظ آن در کل طرح و فرایند طراحی شروع می شود. برخی از روش ها و نکات برای حفظ یکپارچگی سیگنال شامل موارد زیر می باشد.

- انتخاب مسیر های کوتاه تر و مستقیم در فرایند روتینگ
- سعی شود تا حد امکان در مسیر از Via استفاده نشود. در حالت ایده آل فقط از 2 عدد Via به داخل و خارج از یک لایه داخلی استفاده نمایید.
- استفاده از backdrilling در مسیر های فوق العاده سرعت بالا مثلاً Ethernet 10G+
- به نیاز هرگونه مقاومت انتهایی برای جلوگیری از موج برگشتی یا انعکاس سیگنال انتهای کانال توجه شود. (جهت آگاهی از دیتاشیت استفاده شود).
- با سازنده در راستای انتخاب بهترین و مناسب ترین جنس برد صحبت نمایید.
- فاصله مجاز بین مسیر ها مشخص شود.
- درگاه ها و شبکه هایی که نیاز به تطبیق طول و مساوی بودن طول سیم دارند را مشخص کنید تا از شکستگی یا کج شدگی مسیر و انتقال دیتا جلوگیری به عمل آید.

روتینگ یا سیم کشی در PCB سرعت بالا (High Speed)

با استفاده از قوانینی که در طراحی برد های High Speed تعیین می کنیم مطمئن می شویم که در حین روتینگ، به تطبیق امپدانس، فاصله و طول مشخص مسیر دست یافته ایم. علاوه بر این، می توان قوانین روتینگ زوج دیفرانسیلی را نیز اعمال کرد. تنظیم طول مسیر ها در درگاه های موازی و مسیر های دیفرانسیلی برای اطمینان از تطابق تاخیر انتشار و حذف انحراف بین سیگنال های دریافت شده در گیرنده استفاده می گردد.



روتینگ و استفاده از مسیر های زوج دیفرانسیل در PCB های سرعت بالا

یکی از نکات مهم در طراحی برد های High Speed، استفاده از صفحه یا مسیر GND در نزدیکی ترک ها می باشد. طراحی لایه باید به گونه ای باشد که دارای صفحه زمین در لایه های مجاور سیگنال باشد تا امپدانس مشخص و ثابت حفظ شود. همچنین یک مسیر بازگشت یا Return Path در PCB تعریف شده باشد. جهت جلوگیری از ناپیوستگی امپدانس، که خود دلیلی بر ایجاد مشکلات EMI می شود، نباید مسیر ها از روی شکاف ها یا شکاف های روی زمین هدایت شوند. استفاده از لایه GND به یکپارچگی سیگنال محدود نشده بلکه در یکپارچگی توان و پایداری توان نیز نقش بسزایی دارد.

یکپارچگی توان

اطمینان از ارائه و تحویل توان ثابت به قطعات High Speed یکی از کلیدی ترین نکات در طراحی PCB است. زیرا مشکلات یکپارچگی توان بصورت مشکلات یکپارچگی سیگنال نمایان خواهند شد. علاوه بر این باعث ایجاد تشعشعات



از اتصالات درگاه ها خواهند شد. برای رفع این مورد و اطمینان از یکپارچگی توان از خازن های دیکوپل با طیفی از فرکانس های تشدید استفاده می شود. استفاده از لایه های تغذیه و GND در مجاورت لایه های دیگر باعث کاهش **امپدانس PDN** نیز می شود.

نتیجه گیری

در این مطلب سعی شد نکات مهم در طراحی یک PCB و برد سرعت بالا (High Speed) بررسی و معرفی گردد. قطعاً با مطالعه این نکات نمی توان به یک طراحی اصولی دست یابیم. مگر اینکه برای این کار، تمرین و ممارست زیاد به عمل آورده تا به این حرفه و تخصص دست یابیم.

امیدوارم از این مطلب کمال بهره را برده باشید. در صورت داشتن هرگونه نظر یا سوال درباره این مطلب یا تجربه مشابه اون رو در انتهای همین صفحه در قسمت دیدگاه ها قرار بدید. در کوتاه ترین زمان ممکن به اون ها پاسخ خواهم داد. اگر این مطلب براتون مفید بود، اون رو به اشتراک بگذارید تا سایر دوستان هم بتوانند استفاده کنند. همینطور میتونید این مطلب را توی اینستاگرام با هشتگ #microelecom به اشتراک بگذارید و **پیج مایکروالکام** (@microelecom) رو هم منشن کنید.