به نام خدا

طراحی و ساخت مدار چاپی به کمک کامپیوتر

(Altium designer)

تنظیم کننده : اکبرشاهی

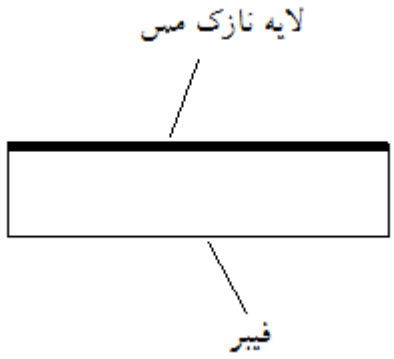
فصل اول : مفاهیم اولیه فیبرهای مدار چاپی و اصطلاحات موجود در طراحی

آشنایی با انواع فیبرهای مدار چاپی و تکنولوژی های ساخت

هر مهندس الکترونیک، تکنسین ها یا کاربران تجربی الکترونیک، برای پیاده سازی و اجرای طرح های خود نیاز به بستری برای نصب و ارتباط دهی المان ها با هم دارد. این بستر می تواند صفحه ای باشد که المان ها روی آن نصب و ارتباط دهی می شوند. اصطلاحا این صفحه را فیبر مدار چاپی یا PCB می نامند. یک فیبر مدار چاپی از ورقی فیبرین از جنس الیاف یا فایبرگلاس و سطح بسیار نازکی از مس در یک طرف و یا دو طرف فیبر یا به صورت چندین لایه تشکیل شده است که در قسمت های بعدی به شرح انواع آن و نحوه پیاده سازی طرح های مورد نظر روی آن می پردازیم. این فیبرها از لحاظ مرغوبیت و تکنولوژی ساخت برای اهداف مختلف، متفاوت می باشد. فیبرهای مختلفی با کاربردهای آزمایشگاهی،تجاری، صنعتی، مخابراتی، نظامی و... تولید می شود و از لحاظ هزینه نیز متفاوت است.

۱- فیبرهای مدار چاپی یک رو

فیبرهای مدار چاپی یک رو از یک لایه ورق فیبرین از جنس الیاف یا فایبرگلاس با ضخامت های مختلف و یک لایه نازک مسی در یک طرف فیبر تشکیل می شود.



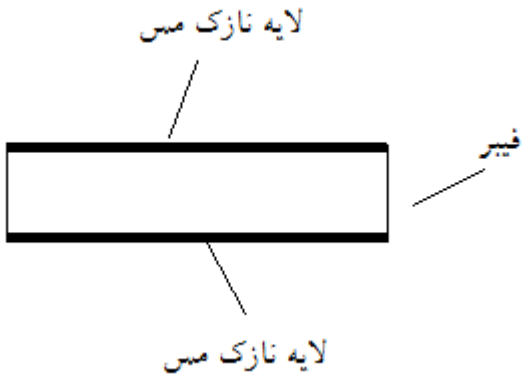
شکل ۱-۱: نمایی از برش کناری فیبر مدار چاپی یک رو

جنس و سطح مقطع فیبر برای اهداف مختلف، متفاوت است. مانند فیبرهای ساخته شده از الیاف که اصطلاحا فیبرهای استخوانی خوانده می شوند یا فیبرهایی از جنس فایبرگلاس با استحکام و دوام بیشتر یا فیبرهای خاص که برای اهداف خاص یا نظامی تولید می شوند. سطح مقطع فیبرها بسته به نوع استفاده از کسری از میلی متر تا چندین میلی متر متفاوت است.

فیبرهای یک رو بیشتر برای طرح هایی با ابعاد کوچک و تراکم ارتباط کم مورد استفاده قرار می گیرد، زیرا ارتباطات فقط در یک طرف از فیبر قرار دارد و در طرف دیگر المان ها قرار می گیرند. فیبرهای یک رو بیشتر برای المان های پایه دار یا اصطلاحا DIP مورد استفاده قرار می گیرد. در فیبرهای یک رو، نقشه طراحی شده برای پیاده سازی نیز به صورت یک رو طراحی می شود.

۲- فیبرهای مدار چاپی دورو

فیبرهای مدار چاپی دو رو، همانند فیبرهایی یک رو از یک لایه ورق فیبرین از جنس الیاف یا فایبرگلاس با ضخامت های مختلف و دو لایه نازک مسی در دو طرف فیبر تشکیل می شود.



شکل ۲-۱: نمایی از برش کناری فیبر مدار چاپی دورو

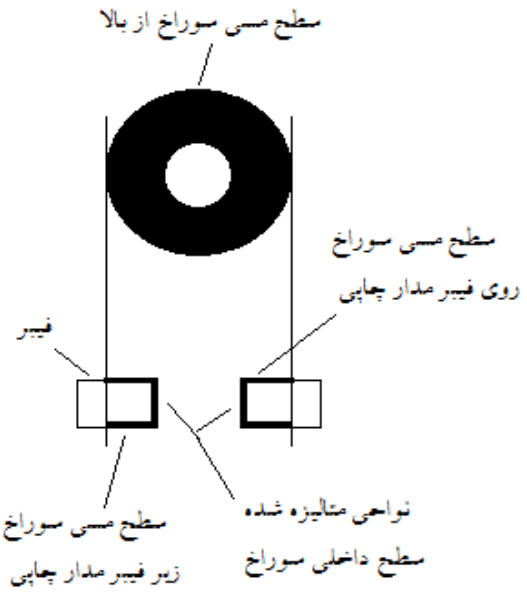
تکنولوژی ساخت فیبرهای دورو کاملا مشابه فیبرهای یک رو است با این تفاوت که فیبرهای دورو شامل دو سطح مسی است. این نوع فیبرها در طرح هایی با تراکم ارتباط بالا و قطعات نصب سطحی یا SMD کاربرد دارد. المان های SMD پایه دار نیستند و قابل نصب روی سطح می باشند. به همین خاطر می توان آن ها را در دو طرف فیبر قرار داد. این امر اندازه یک فیبر مدار چاپی را به شکل چشم گیری کاهش می دهد.

شکل ۳-۱: نمونه ای از یک المان نصب سطحی

شکل ٤-۱: نمونه ای از یک المان پایه دار

۳- حالت متالیزه

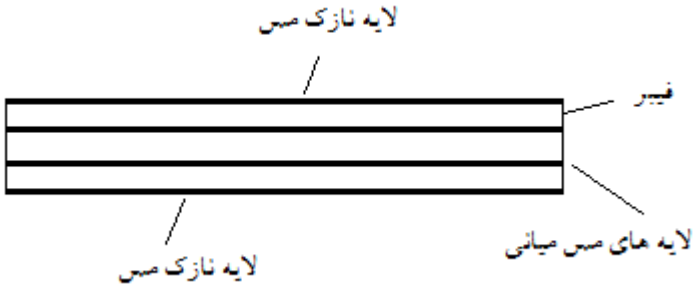
فیبرهای مدار چاپی دورو، اصولا اصطلاح متالیزه را نیز همراه خود دارد. وقتی به صورت دورو طراحی می شود، بخشی از طرح در روی فیبر مدار چاپی و بخشی در زیر فیبر مدار چاپی قرار می گیرند. تصور کنید در یک طرح یک پایه از یک المان باید به پایه های چند المان دیگر متصل شود و باید این طرح به صورت دورو طراحی شود. در این طراحی بعضی المان ها روی فیبر مدار چاپی و بعضی در زیر هستند، برای برقراری ارتباط سطح رو و سطح زیر بهتر است سوراخ هایی روی فیبر مدار چاپی قرار گیرد و از طریق یک اتصال و از مسیر این سوراخ ها، ارتباط سطح رو و سطح زیر برقرار شود، حتی می توان این اتصال ها را از مسیر سوراخ های قرارگیری المان های پایه دار ایجاد کرد. به این منظور از تکنیکی به نام متالیزه استفاده می شود. در حالت متالیزه سطح داخلی همه سوراخ های ایجاد شده روی فیبر مدار چاپی تحت عملیاتی، لایه ای نازک از فلز می پوشاند و ارتباط دو طرف فیبر مدار چاپی را برقرار می کند. پس از طراحی نیز می دانیم که هر سوراخی که روی فیبر مدار چاپی دورو ایجاد کنیم، چه برای ارتباط و چه به عنوان محل قرارگیری یک پایه، در آن نقطه سطح رو با سطح زیر در ارتباط است.



شکل ۵-۱: حالت متالیزه

٤- فیبرهای مدار چاپی چند لایه

در بعضی طرح ها که تراکم ارتباطات بین المان ها به شدت زیاد است، حتی فیبرهای مدار چاپی دورو نیز راه حل مناسبی برای طرح مورد نظر نمی باشد و باید راه حل جدیدی اندیشید. امروزه تکنولوژی پیشرفته فیبرهای مدار چاپی چند لایه عرصه طراحی را برای مهندسین بسیار گسترده کرده است. فیبرهای مدار چاپی چند لایه نه تنها دارای لایه مس در رو و زیر فیبر است، بلکه لایه های مس میانی نیز در بینابین فیبر وجود دارد که طرح را بسیار گسترده می کند. این نوع فیبرهای مدار چاپی از لحاظ طراحی و ساخت بسیار پر هزینه و زمان بر است.



شکل ٦-۱: نمایی از برش کناری فیبر مدار چاپی چند لایه

اصطلاحات موجود در طراحی فیبرهای مدار چاپی

در طراحی و ساخت فیبرهای مدار چاپی، اصطلاحاتی مرسوم بین مهندسین، تکنسین ها، کاربران و سازندگان وجود دارد. این اصطلاحات در انواع نرم افزارهای طراحی فیبرهای مدار چاپی نیز وجود دارد که در قسمت های بعدی به آن می پردازیم.

Pad –۱

Pad یکی از مهم ترین عوامل در طراحی یک فیبر مدار چاپی است. می توان گفت در هر نوع فیبر مدار چاپی، Pad وجود داشته و نقش بسزایی دارد. برای مونتاژ هر گونه المان روی یک فیبر مدار چاپی نیاز به محلی برای قرار دادن هر پایه و لحیم کاری آن پایه در آن نقطه است. Pad می تواند دارای سوراخ برای المان های پایه دار یا بدون سوراخ برای المان های نصب سطحی باشد. Pad در فیبرهای مدار چاپی یک رو، فقط در طرف مسی قرار دارد و در فیبرهای مدار چاپی دورو در هر نقطه که Pad وجود دارد، این Pad در همان نقطه به طور قرینه در هر دو طرف مسی وجود دارد و داخل سوراخ Pad در حالت متالیزه ایجاد می شود.

در ایجاد یک Pad چند عامل مهم وجود دارد:

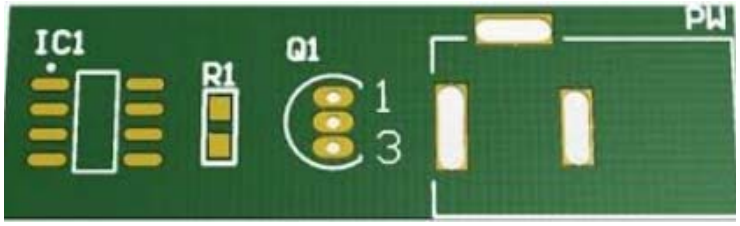
۱. قطر Pad
۲. قطر سوراخ Pad
۳. شکل Pad

قطر یک Pad مشخص می کند که یک پایه تا چه حد با استحکام در محل خود قرار می گیرد. چون هر چه Pad بزرگ یا کوچک باشد، بسته به اندازه و قطر پایه ای است که در سوراخ Pad قرار می گیرد. قطر سوراخ Pad یکی از مهم ترین عوامل در طراحی یک فیبر مدار چاپی می باشد. زیرا پایه های المان ها در سوراخ Pad قرار می گیرند.، اشتباه در اندازه گیری قطر پایه ها سبب دو مشکل می شود.

۱. کوچک شدن سوراخ Pad
۲. بزرگ شدن سوراخ Pad

هر دو عامل باعث بروز مشکلاتی در نصب المان ها می شود. اگر سوراخ یک Pad کوچک باشد، پایه المان در آن قرار نمی گیرد و اگر سوراخ Pad بزرگ باشد، پایه المان در آن می لغزد. قطر پایه ها باید توسط

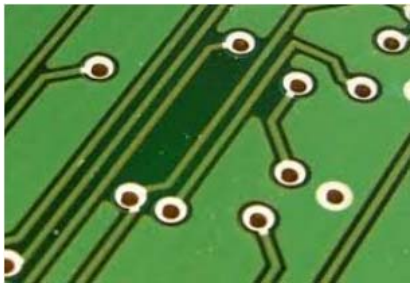
ابزاری به نام کولیس (کولیس ابزاری است برای اندازه گیری دقیق سطح مقطع و قطر داخلی سوراخ ها که از دو فک ثابت و متحرک تشکیل شده است) دقیقا اندازه گیری شود. معمولا در فیبرهای مدار چاپی یک رو قطر سوراخ هر Pad به اندازه 0.1 میلی متر بیشتر از قطر واقعی پایه می باشد و در فیبرهای مدار چاپی دورو قطر سوراخ هر Pad به اندازه 0.2 میلی متر بیشتر از قطر واقعی پایه می باشد (به علت حالت متالیزه در فیبرهای مدار چاپی دورو این مقدار بیشتر است. چون داخل سوراخ هر Pad کمی کوچکتر خواهد شد). شکل Padها معمولا به شکل دایره است، اما بسته به نوع محل قرارگیری می تواند به شکل مربع، مستطیل یا بیضی باشد، معمولا شکل پایه شماره ۱ در ICها با بقیه پایه ها متفاوت است که مشخص کننده جهت قرارگیری IC است.



شکل ۷-۱: pad برای المان های پایه دار و نصب سطحی

۲- Track یا Line

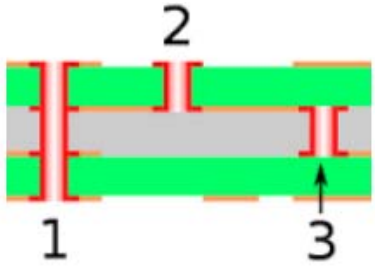
همان طور که قبلا گفته شد، Padها برای قرار دادن پایه های یک المان و اتصال آن ها به فیبر مدار چاپی مورد استفاده می باشند. برای ایجاد یک مدار باید پایه های المان ها که به وسیله Padها به فیبر مدار چاپی متصل شده اند، توسط مسیرهایی به هم متصل شوند. این مسیرهای ارتباطی Track یا Line نام دارد. Trackها را می توان به سیم های ارتباطی در یک مدار تشبیه کرد. عاملی که در ایجاد یک Track مهم است ، قطر Track است، قطر Track به جریان عبوری از Track و شرایط مداری بستگی دارد. هر چه جریان گذرنده از یک Trackبالاتر باشد، قطر Track نیز بیشتر است.



شکل ۸-۱: نمایی از Track روی برد مدار چاپی

۳-Via یا Through Hole

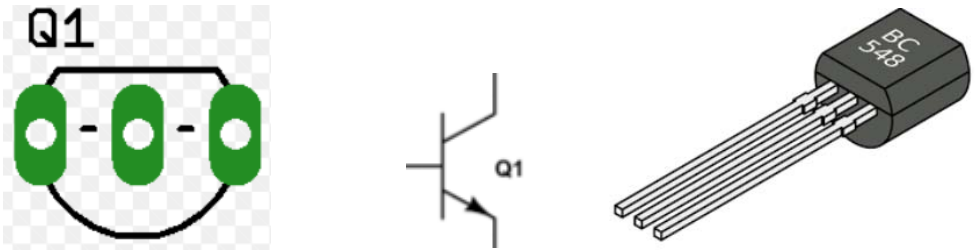
Via یا Through Hole در ظاهر Padهای کوچکی هستند که درون آن ها پایه المانی قرار نمی گیرد. وظیفه Via ارتباط لایه های فیبر مدار چاپی با هم است. به طور مثال در یک فیبر مدارچاپی دورو، اگر در محلی نیاز به ارتباط با آن روی فیبر باشد از Via استفاده می شود. در فیبرهای مدار چاپی دورو و چندلایه از Via به مراتب استفاده می شود. اما در فیبرهای مدار چاپی یک رو، Via کاربردی ندارد.



شکل ۹-۱: Via

٤- Footprint

Footprint را می توان مهم ترین عامل در طراحی یک فیبر مدار چاپی دانست. هر المانی که در طرح شماتیک یک مدار وجود دارد شامل یک Footprint است، Footprint، محل گیری هر المان روی فیبر مدار چاپی است. یک Footprint معمولا شامل تعدادی Pad برای قرارگیری پایه های المان و شکلی به عنوان بخش راهنمای مونتاژ است.



شکل ۱۰-۱: Footprint، نمای شماتیک و شکل واقعی یک ترانزیستور

٥- لایه های مختلف در طراحی نرم افزاری فیبرهای مدار چاپی

در طراحی فیبرهای مدار چاپی یکی از عوامل مهم، لایه های مختلف طراحی است. لایه ها شامل لایه های سیگنالی، لایه های محافظ و ... هستند که تمام ارتباطات و اتصالات در لایه های سیگنالی رو، زیر و میانی

فیبرهای مدار چاپی قرار می گیرند و لایه های راهنمای رو و زیر، حروف و شکل هایی را که راهنمای مونتاژ است در خود دارند و لایه هایی که برای لایه محافظ به کار می روند، طرح محافظ رو و زیر فیبر مدار چاپی را در خود دارند.

٦- Net

Net به معنای شبکه است برای طراحی یک PCB، ابتدا نقشه شماتیک آن در محیط شماتیک نرم افزار رسم می شود و سپس طی مراحلی، نقشه از محیط شماتیک به محیط طراحی PCB انتقال پیدا می کند.

اتصالات بین المان ها که در محیط شماتیک انجام می شود، یک شبکه اطلاعات از اتصالات المان های مدار را در نرم افزار ایجاد می کند. هر یک از شاخه های این شبکه را که حاوی اتصال بین دو نقطه یا چند نقطه است، Net می گویند.

بنابراین هر اتصال در محیط شماتیک و PCB دارای یک Net مخصوص به خود است. نرم افزار از طریق این Netها، می تواند مسیریابی خودکار را انجام دهد.

۷- کتابخانه شماتیک

هر المان در محیط شماتیک، به عنوان یک کتابخانه شماتیک شناخته می شود.

۸- کتابخانه PCB

کتابخانه PCB همان Footprint است که در محیط PCB مورد استفاده قرار می گیرد.

۹- کتابخانه مجتمع

یک کتابخانه شماتیک یا یک کتابخانه PCB، تنها یک عنصر واحد است، اما یک کتابخانه مجتمع می تواند تعداد بسیار زیادی المان شماتیک را به همراه Footprint متصل شده به آن در خود داشته باشد. کتابخانه های مجتمع از تعداد زیادی کتابخانه های شماتیک و PCB ساخته می شوند که قبلا ایجاد شده اند.

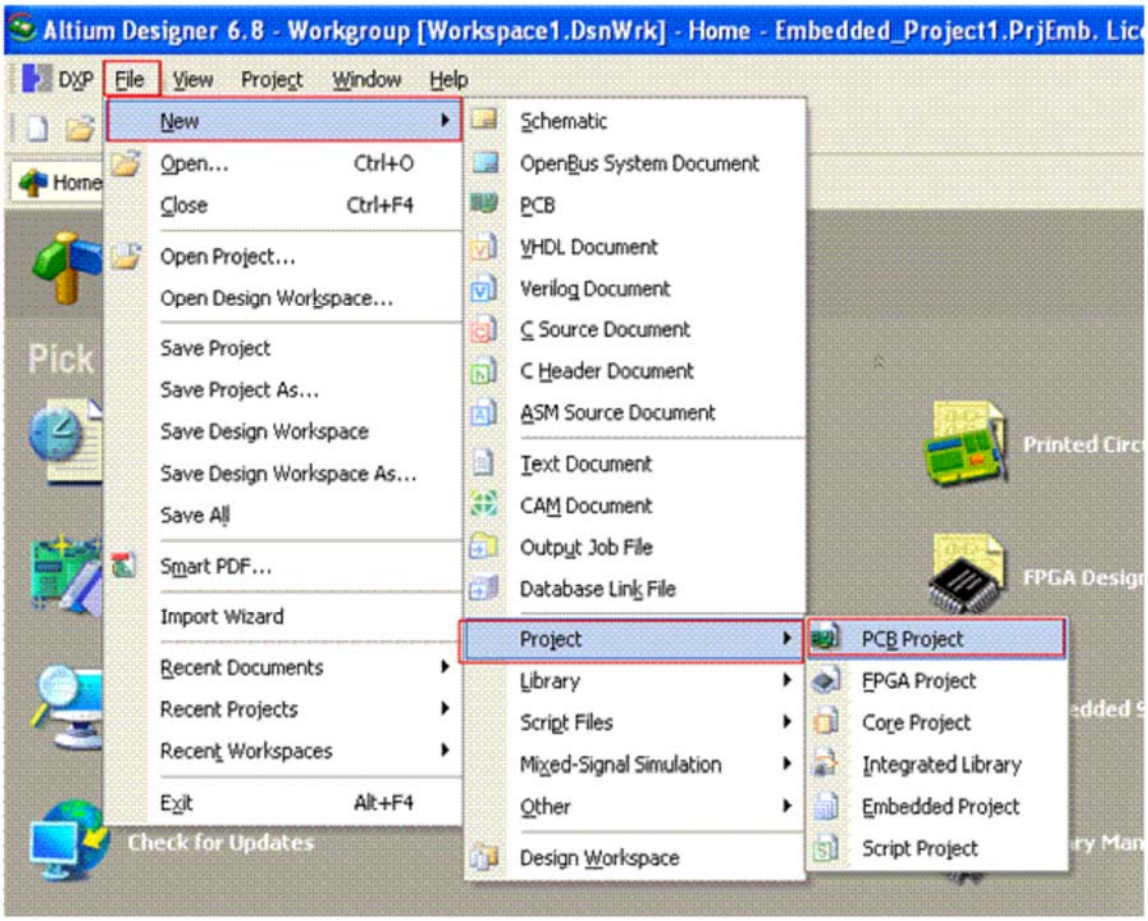
آشنایی با نرم افزار Altium designer (Protel DXP)

مقدمه

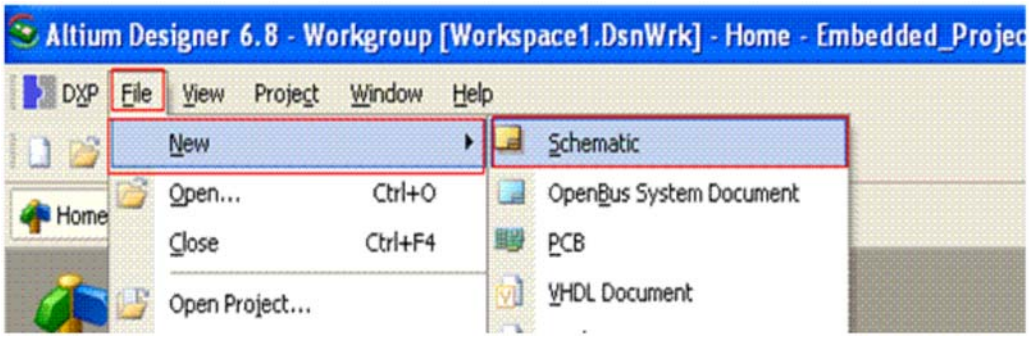
Altium designer (پروتل dxp) یک نرم افزار پرقدرت برای طراحی مدارچاپی می باشد. از این نرم افزار علاوه بر طراحی مدار چاپی (PCB)، برای برنامه نویسی تراشه های FPGA استفاده می شود. در این درس به بررسی طریقه طراحی و ساخت مدار چاپی توسط این نرم افزار پرداخته می شود.

ایجاد سند شماتیک

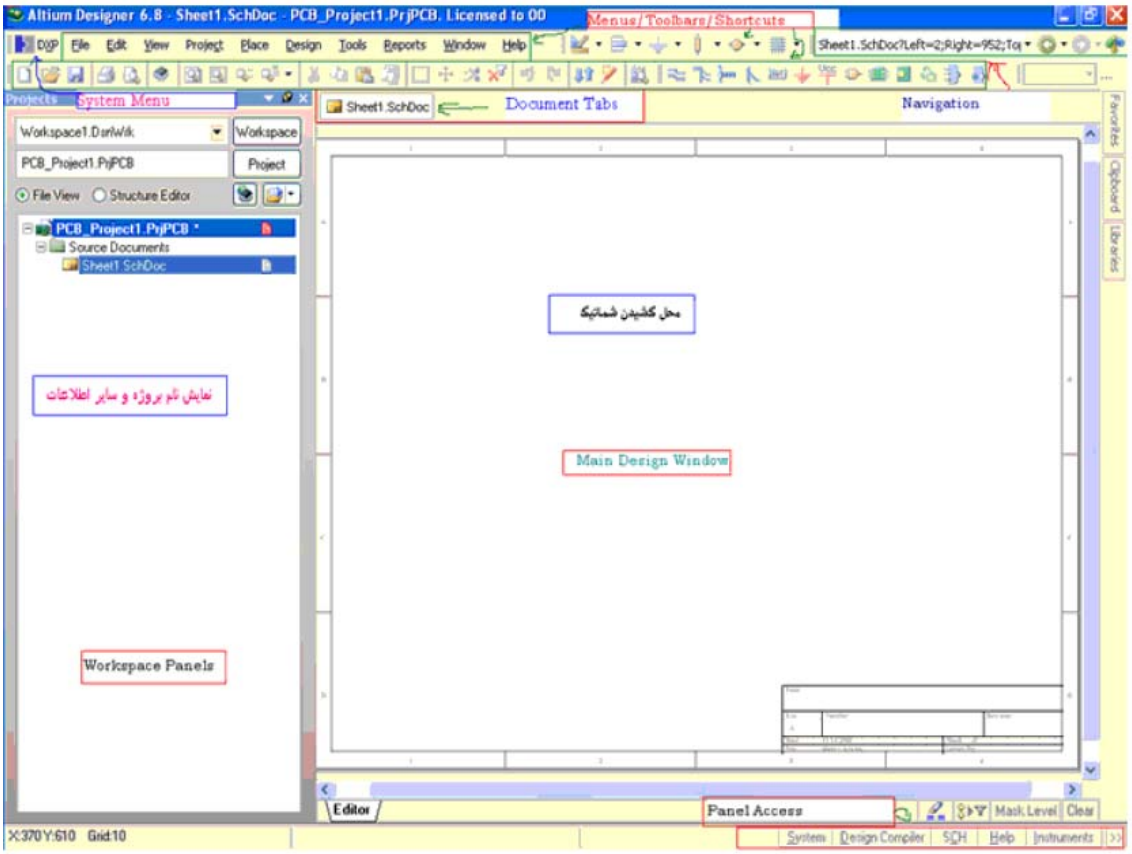
اولین قدم برای طراحی یک PCB ایجاد یک پروژه می باشد ، برای ایجاد پروژه PCB مطابق شکل زیر از مسیر FILE ⟶ NEW ⟶ PROJECT گزینه PCB PROJECT را انتخاب کنید:



در حال حاضر شما یک سند PCB ایجاد کرده اید، اکنون مانند تصویر زیر، از مسیر FILE ⟶ NEW گزینه Schematic را انتخاب کنید تا یک سند شماتیک به پروژه اضافه شود:



بعد از انجام مراحل بالا، همانطور که مشاهده می کنید ، دو پنجره باز می شود، پنجره اول محل کشیدن شماتیک و پنجره دوم نام پروژه را نمایش می دهد.



منو ها ی موجود در این محیط را به ۷ بخش تقسیم کرده ایم، در زیر کار هر منو به صورت کلی گفته شده است:

System Menu: در این قسمت شما می توانید ابزار و منوها را مطابق میل خود بچینید، شما همچنین در این قسمت میتوانید لیسانس های نرم افزار را مشاهده و ویرایش کنید و ...

Document Tabs: در این محل اسناد شماتیک، PCB و ... که باز هستند نمایش داده می شود ، با کلید کردن روی آنها میتوانید آنها را ببینید، همچنین با کلید راست کردن روی هریک و انتخاب گزینه Close می توانید آنها را ببندید.

Menus/Toolbars/Shortcuts: شامل منوها، میانبر ها و نوار ابزارهاست، در نوار ابزار، ابزاری که همیشه به آن نیاز دارید، وجود دارد، شما می توانید با رفتن به قسمت System Menu آنها را ویرایش کنید.

Navigation: برای دسترسی سریع به دیگر مکانهای نرم افزار (Home، محیط شماتیک، محیط PCB، محیط 3D و...) می توانید از این ابزارها استفاده کنید.

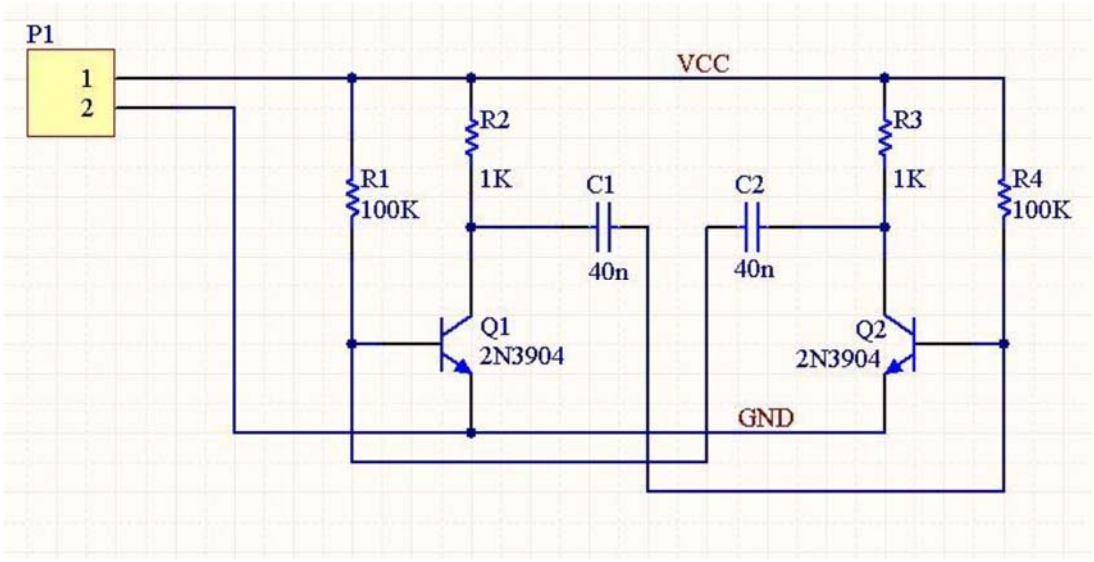
Panel Access: در این قسمت منوهای پرکاربرد نظیر Library و... برای دسترسی سریع تر گذاشته شده اند .

Main Design Window: این قسمت محل کشیدن نقشه شماتیک می باشد، شما باید قطعات را از کتابخانه آورده و در اینجا نقشه خود را رسم کنید.

Workspace Panels(نمایش نام پروژه ها و سایر اطلاعات): در این قسمت نام پروژه ها و دیگر اطلاعات نمایش داده می شود، هر سند شماتیک و PCB باید در یک پروژه PCB جای گیرد، در این مورد بعدا توضیح داده می شود.

۳-۲ وارد کردن قطعات به محیط شماتیک

شماتیک مداری که قصد داریم برایش PCB (فیبر مدار چاپی) بسازیم در زیر آورده شده است:



مدار مربوط به یک مولتی ویبراتور ساده است. در زیر قطعات مدار را مشاهده می کنید:

دو عدد ترانزیستور 2N3904

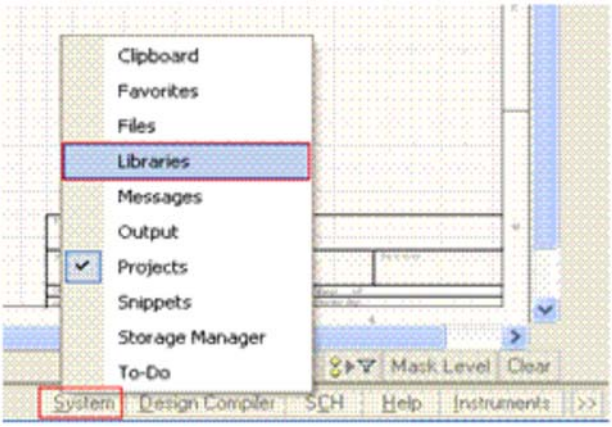
دو عدد خازن 40nF

دو عدد مقاومت 1K

دو عدد مقاومت 100K

یک عدد کانکتور

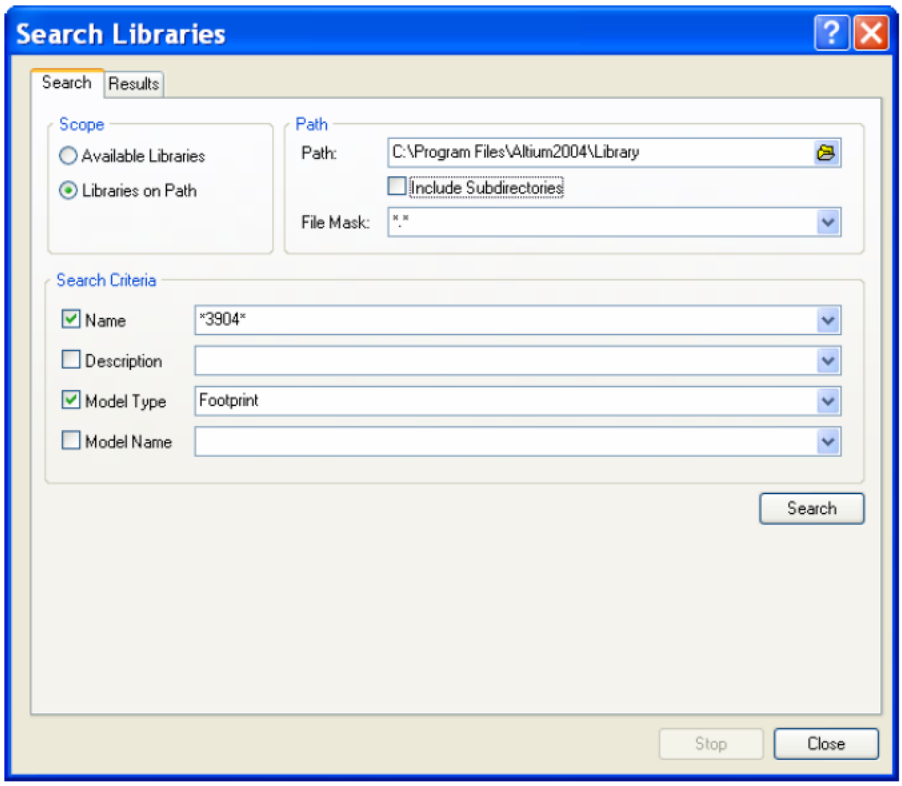
بعد از ایجاد پروژه PCB و سند شماتیک، باید مدار را در صفحه شماتیک رسم کنید، برای این کار از قسمت Panel Access، منوی System گزینه ی Libraries را انتخاب کنید:



همانطور که مشاهده می کنید، کتابخانه باز می شود، پس از باز کردن پنجره Libraries روی Search کلیک می کنیم و یا می توانیم از مسیر Tools ⟶ Find Component پنجره مورد نظر را انتخاب کنیم.

می خواهیم تمام مراجع مربوط به قطعه مورد نظرمان که همان ترانزیستور 2N3904 است را جستجو کنیم، بنابراین در فیلد متنی Name در بخش Search، 2N3904* را تایپ می کنیم.

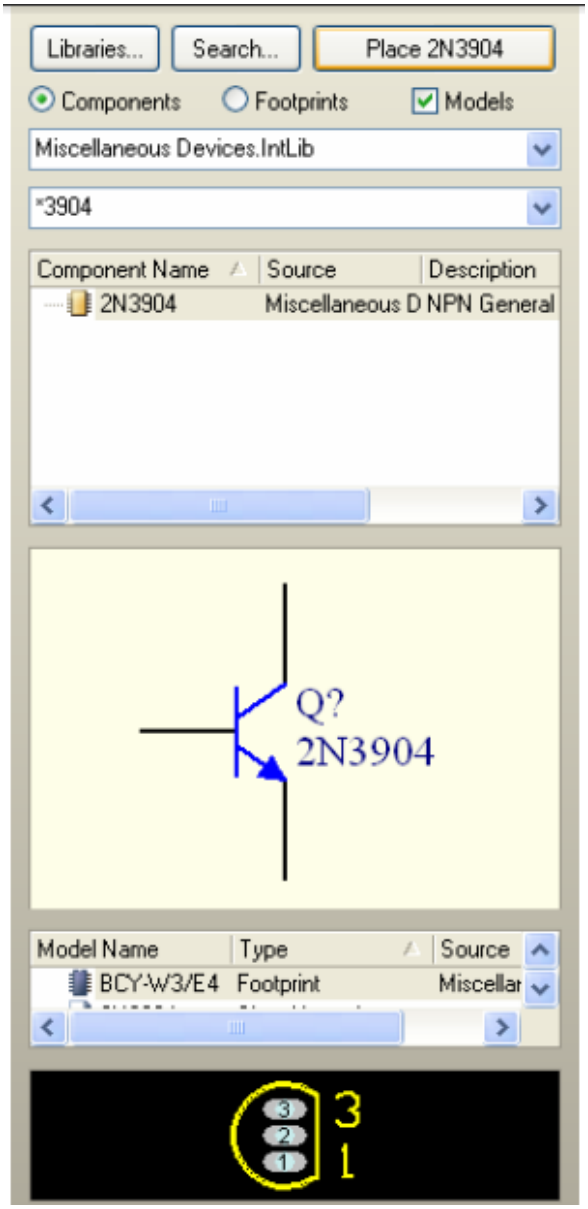
نکته: نماد ستاره، کاراکتری است عمومی، که با استفاده از آن پیشوندها یا پسوندهای متفاوت مورد استفاده توسط تولیدکنندگان مختلف به حساب آورده می شود.



دقت شود که Model Type تیک خورده و گزینه Footprint انتخاب شده باشد.

بر روی دکمه Search کلیک کرده و از زبانه ی Result دکمه ی Install را کلیک کنید تا کتابخانه نصب شود.

در پنجره ی Libraries ترانزیستور 2N3904 مورد نظر را پیدا کرده و روی دکمه Place 2N3904 کلیک می کنیم.



در حالیکه قطعه به ماوس متصل است دکمه ی Tab را فشار دهید تا کادر Component Properties برای قطعه مورد نظر باز شود.

در فیلد Designator، Q1 را وارد کرده و روی دکمه Ok کلیک کنید.

با زدن دکمه ی X روی کیبورد ترانزیستور دوم را Mirror کنید و به آن نشانه گر Q2 را اختصاص دهید.

نکته ۱: در صورتی که بخواهیم عنصر را به صورت افقی برگردانیم از کلید X استفاده می کنیم.

نکته ۲: در صورتی که بخواهیم عنصر را به صورت عمودی برگردانیم از کلید Y استفاده می کنیم.

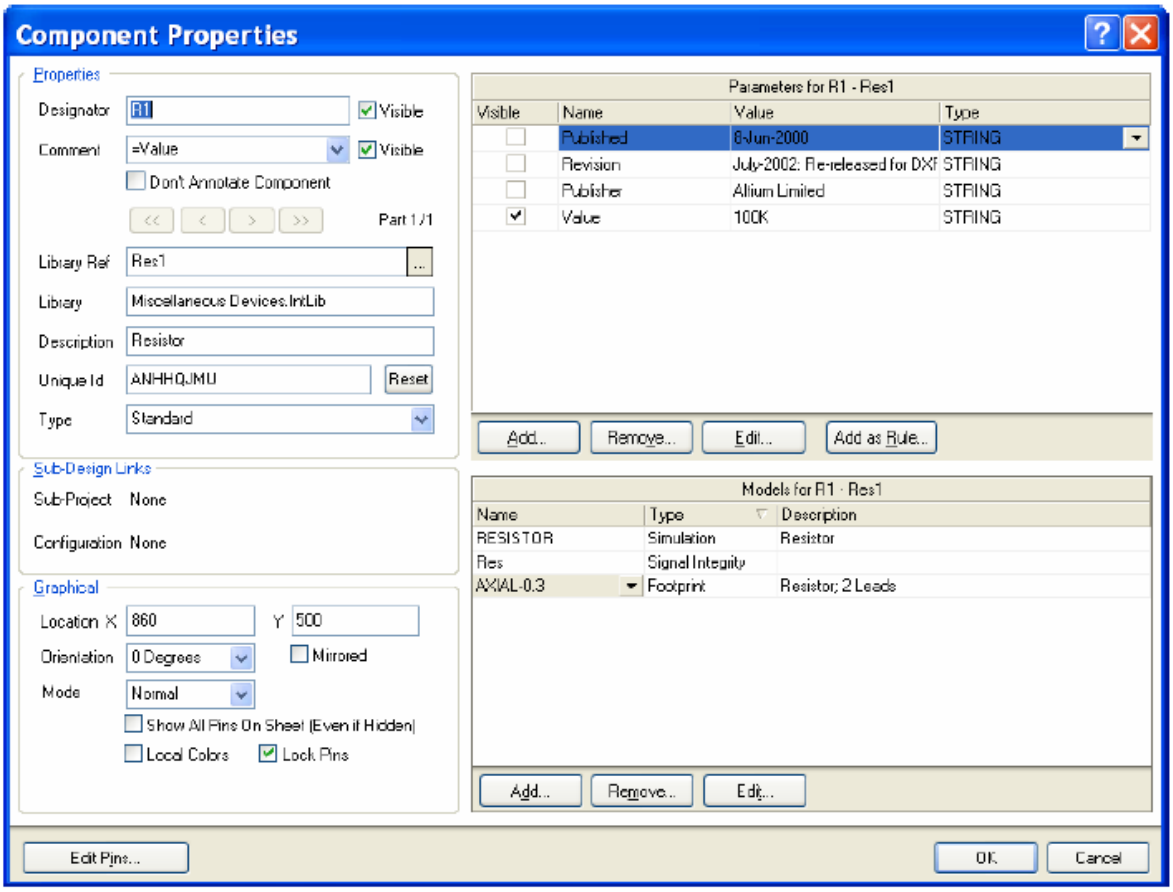
نکته ۳: برای بزرگنمایی و کوچک نمایی تصویر از دو کلید Page Down و Page Up روی کیبورد و یا از روی نوار ابزار نرم افزار zoom in و zoom out استفاده می شود.

نکته ٤: SpaceBar قطعه را به اندازه ی 90 درجه می چرخاند.

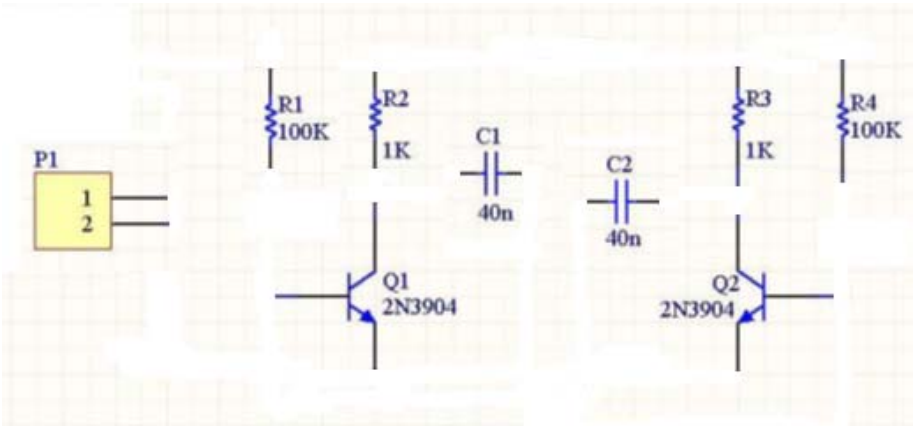
برای افزودن باقی قطعات نیز به همین گونه عمل می کنیم.

برای مقاومت، عبارت *res*، خازن، عبارت *cap*، ترانزیستور، نام ترانزیستور مورد نظر را بین دو ستاره تایپ می کنیم. برای افزودن منبع پالسی و سینوسی و سایر منابع از مسیر View→Toolbars→ Simulation Sources عمل می کنیم.

نکته: برای قطعاتی که دارای مقدار (value) می باشند، مثلا مقاومت در حالت جایگذاری دکمه tab را بزنید تا پنجره ی component properties به نمایش درآید. سپس همانند شکل زیر تغییرات را اعمال کنید.



نحوه ی جایگذاری قطعات به سلیقه ی شما بستگی دارد. شکل پیشنهادی ما به صورت زیر می باشد.

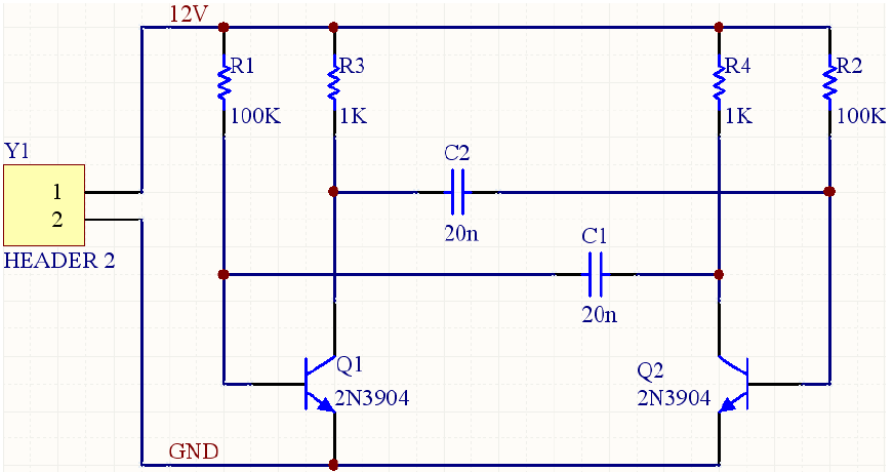


با انتخاب Place/Wire مدار را سیم کشی کرده و روی گره های Vcc و GND برچسب می زنیم.

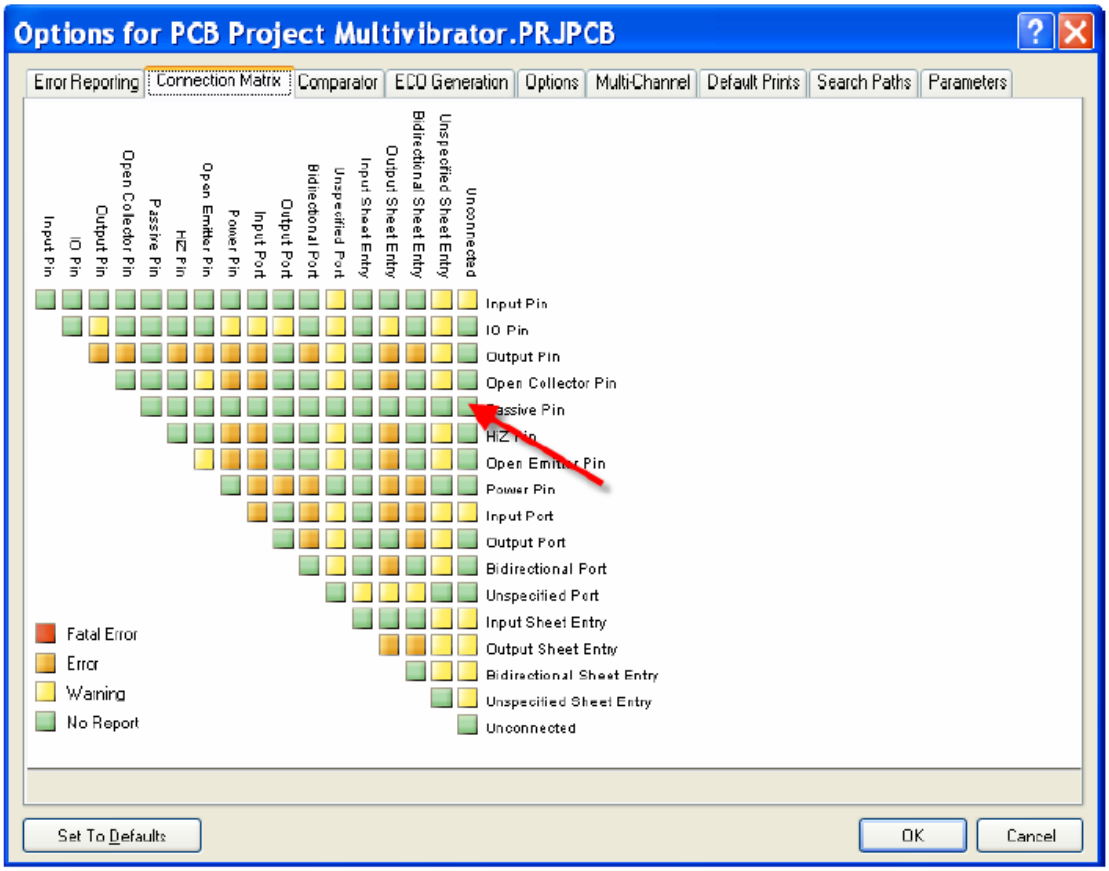
برای اینکار از ابزار Power Port از مسیر زیر در منوها، گزینه Power Port را انتخاب می کنیم.

Place ⟶ Power Port

پس از انتخاب ابزار Power Port کلید Tab را از صفحه کلید فشار دهید تا کادر محاوره Power Port نمایان شود. برای Vcc، style را روی Bar و در کادر Net، Vcc قرار داده و برای GND، style را روی Power Ground و در کادر Net، GND قرار می دهیم و روی Ok کلیک می کنیم.



از منوی Project\Project Option تنظیمات سربرگ Connection Matrix را بررسی کنید.



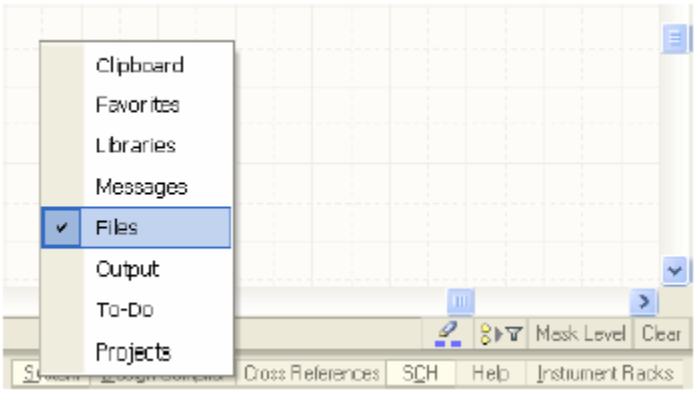
از منوی Project گزینه ی Compile PCB Project را انتخاب کرده وخطاهای ایجاد شده را در پانل Message بررسی کنید.

در صورت وجود خطا، آن را تصحیح نمایید.

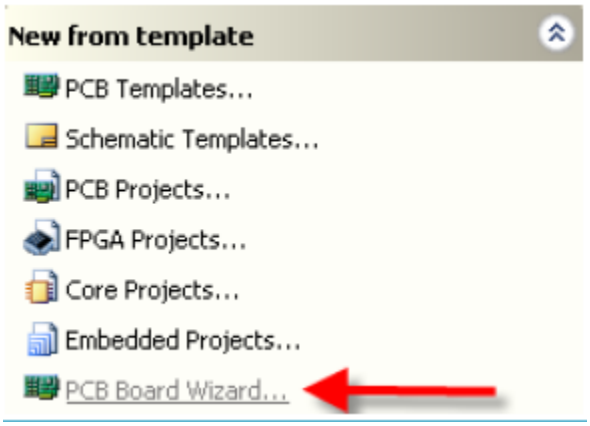
سپس File ⟶ Save را انتخاب کنید تا مدارتان ذخیره گردد. پروژه را نیز ذخیره نمایید.

طراحی فایل PCB

ابتدا از Panel Control سیستم، File را انتخاب کنید.



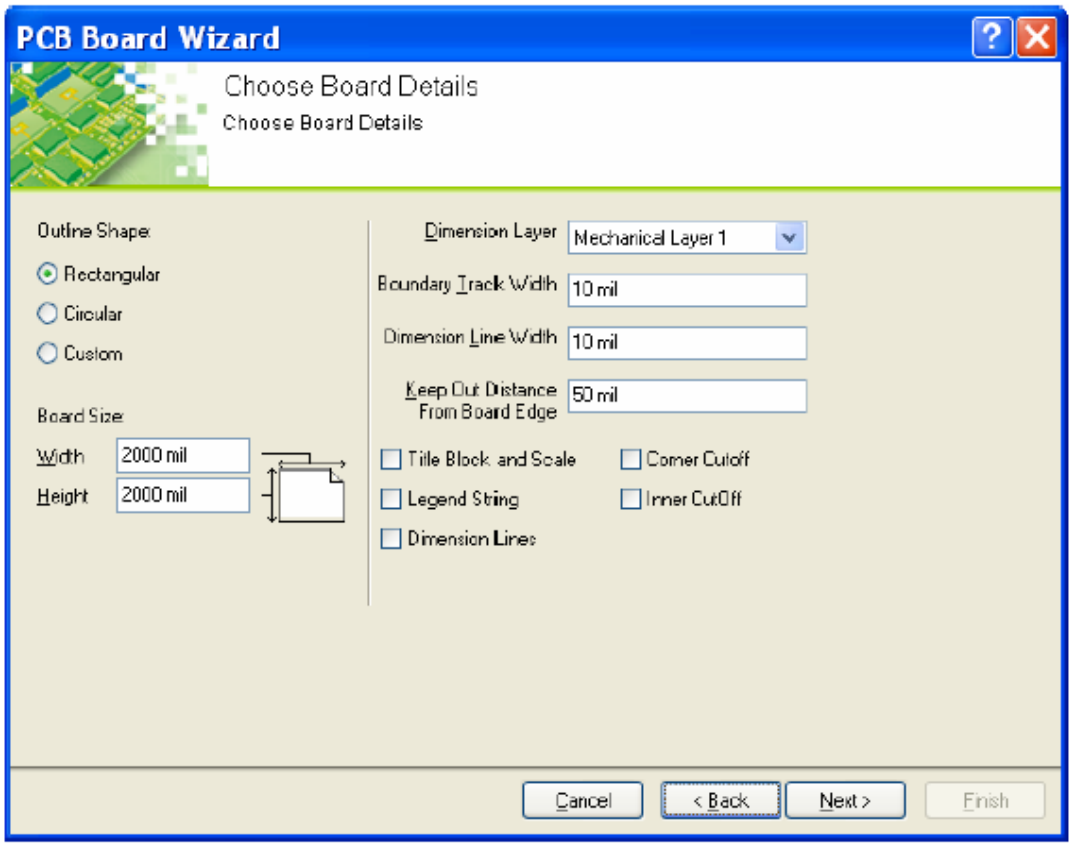
گزینه PCB Board Wizard را انتخاب کنید.



واحدهای اندازه گیری را در وضعیت Imperial تنظیم کرده و روی Next کلیک کنید.

از لیست بعدی گزینه Custom را انتخاب کنید.

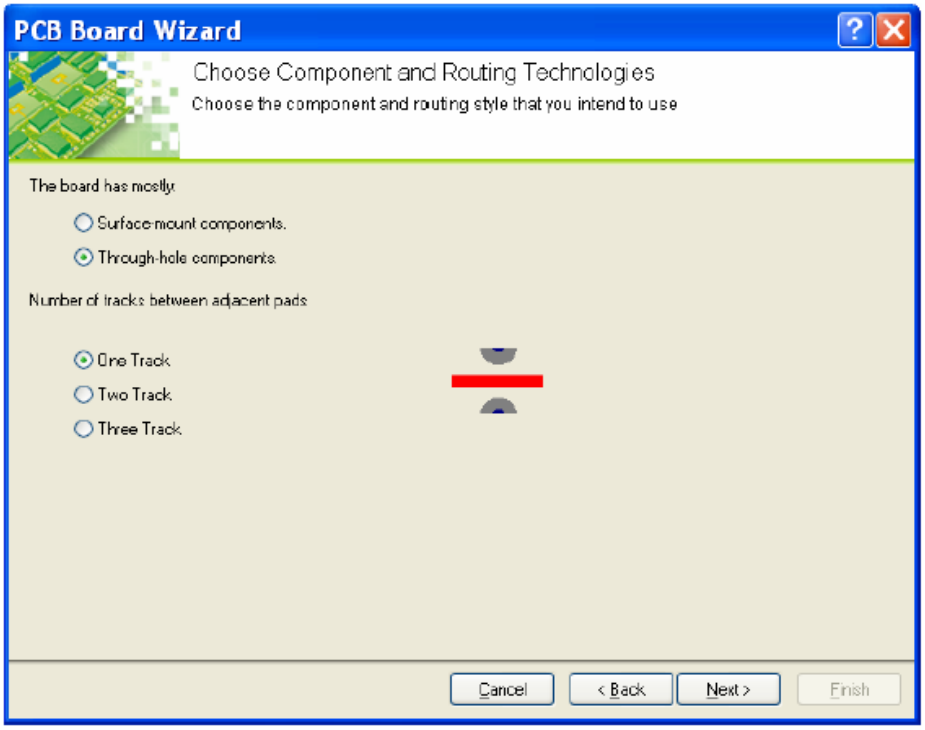
در فرم بعدی جزئیات برد را مطابق زیر تنظیم نمایید.



در گام بعد Power Plane را روی صفر تنظیم کنید.

با انتخاب Thruhole Vias Only سبک اتصال دهنده بین لایه های مورد استفاده در این طرح را انتخاب نموده و سپس Next کنید.

کادر بعد را به صورت زیر تنظیم نمایید:



تنظیمات صفحه ی بعد را به صورت پیش فرض رها کرده و دکمه ی Next را کلیک کنید.

در نهایت روی Finish کلیک کنید.

از منوی Design گزینه ی Board Option را انتخاب کرده و گزینه ی Display Sheet را از حالت انتخاب خارج کنید.

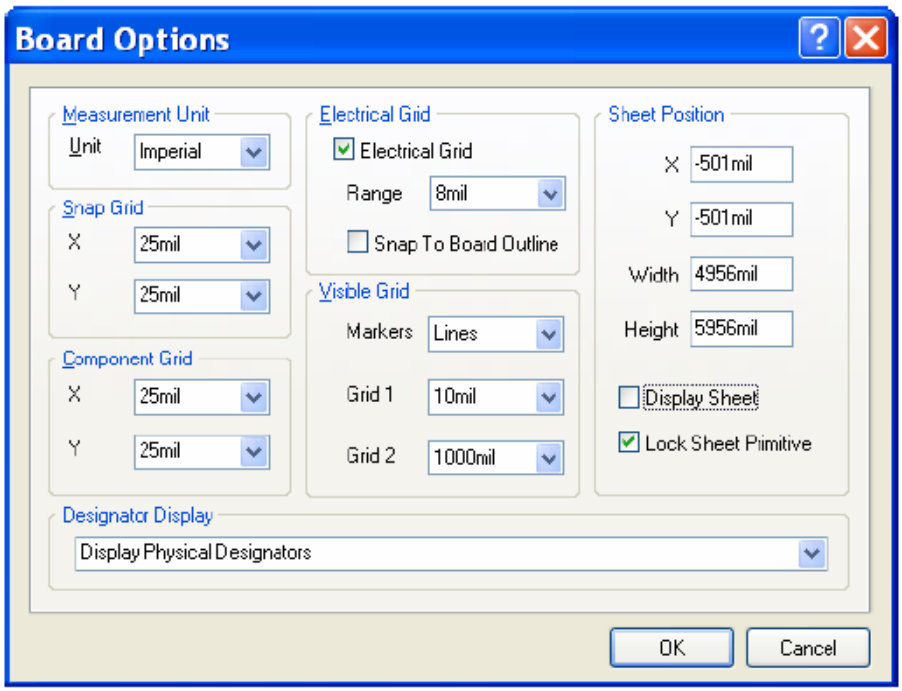
File\Save As را دنبال کرده و سند PCB را در مسیر شماتیک با نام Multivibrator ذخیره کنید.

در پانل Project فایل PCB را Drag کرده و در پروژه ی قبلی رها کنید.

برای بهنگام نمودن سند PCB با فایل شماتیک در سند شماتیک از منوی Design گزینه ی Update PCB را انتخاب کنید.

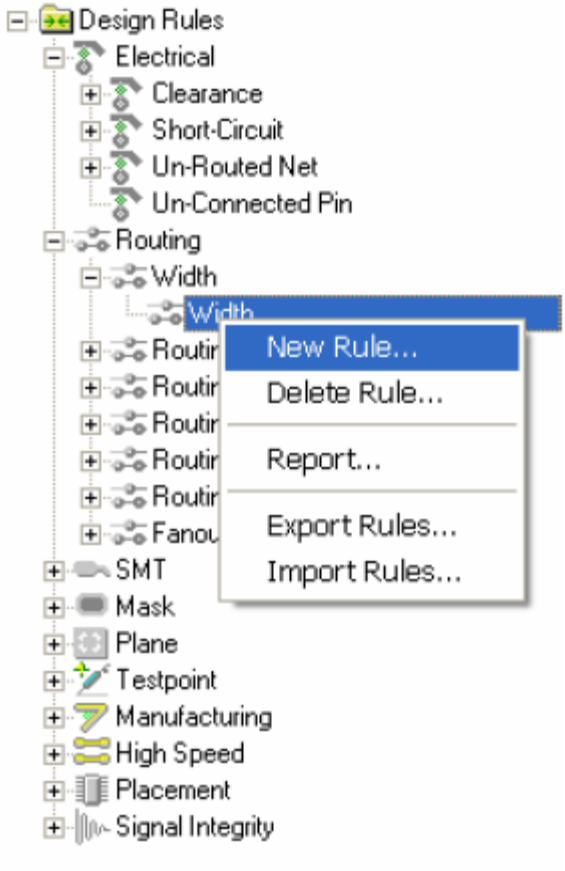
روی دکمه ی Validate Changes کلیک کرده و در صورتی که خطایی گزارش نشد روی Execute Changes کلیک کنید.

از منوی Design گزینه ی Board Option را انتخاب کرده و تنظیمات را به صورت زیر اعمال کنید:



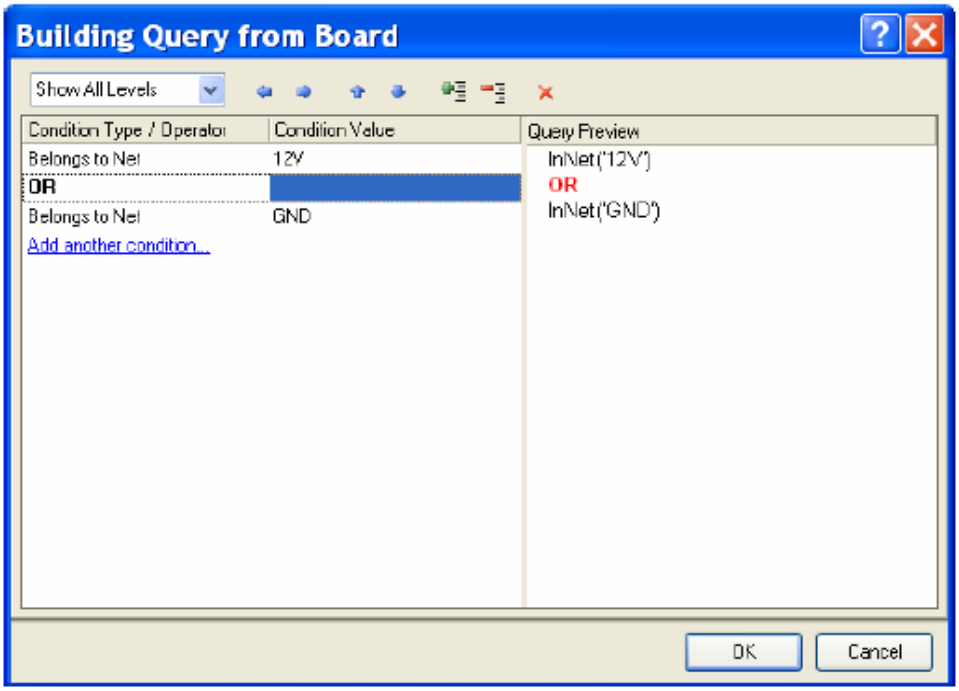
از مسیر Design\Board Layers and Colors لایه های غیر ضروری را غیر فعال نمایید.

مسیر Design\Rules را دنبال کرده و در گروه Width کلیک راست کنید و یک Rule جدید بسازید.



نام آن را به "12V & GND" تغییر داده و روی دکمه ی Query Builder کلیک کنید.

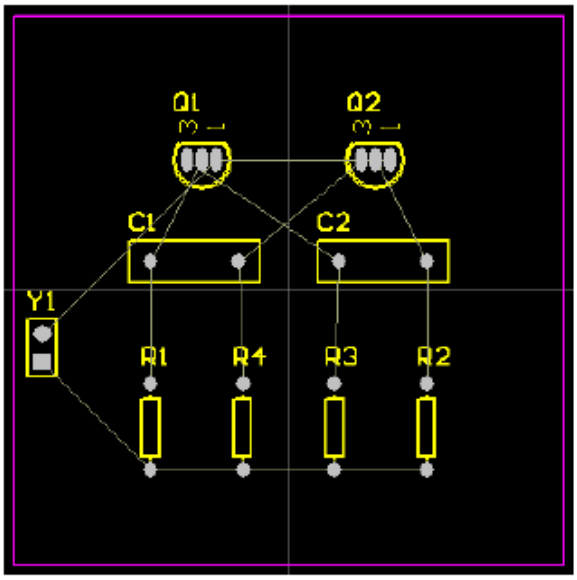
در کادر حاصل تنظیمات را به صورت زیر اعمال کنید:



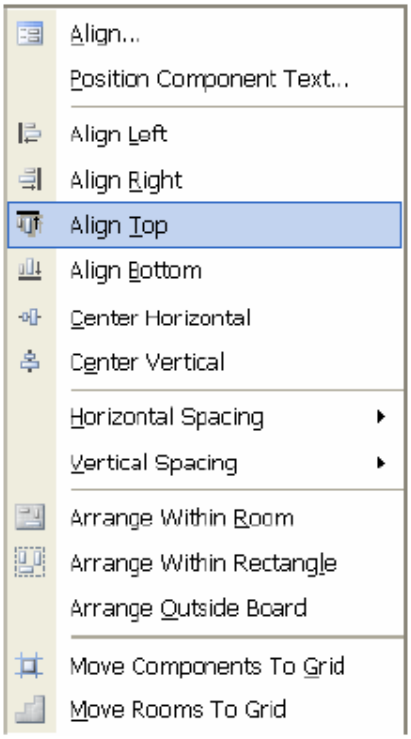
خواص را نیز به صورت زیر تنظیم کنید:

Attributes on Layer			Layer Stack Reference		Absolute Layer	
Min Width	Preferred Size	Max Width	Name	In...	Name	I...
25mil	25mil	25mil	Bottom Layer	1	BottomLayer	32
25mil	25mil	25mil	Top Layer	0	TopLayer	1

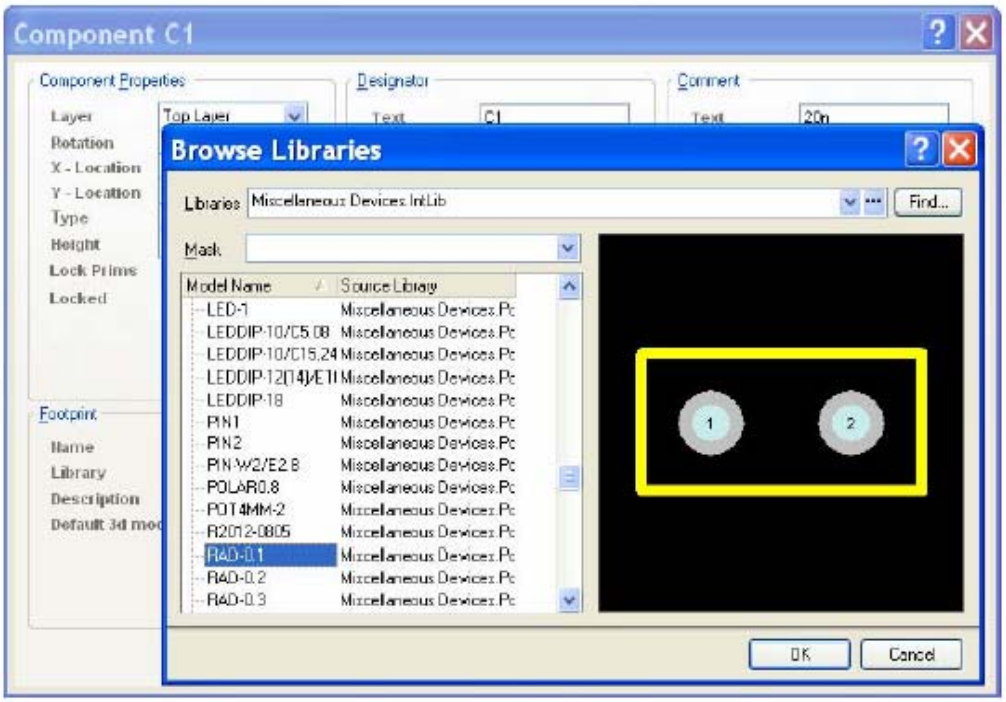
قطعات را مطابق تصویر زیر جایگذاری کنید:



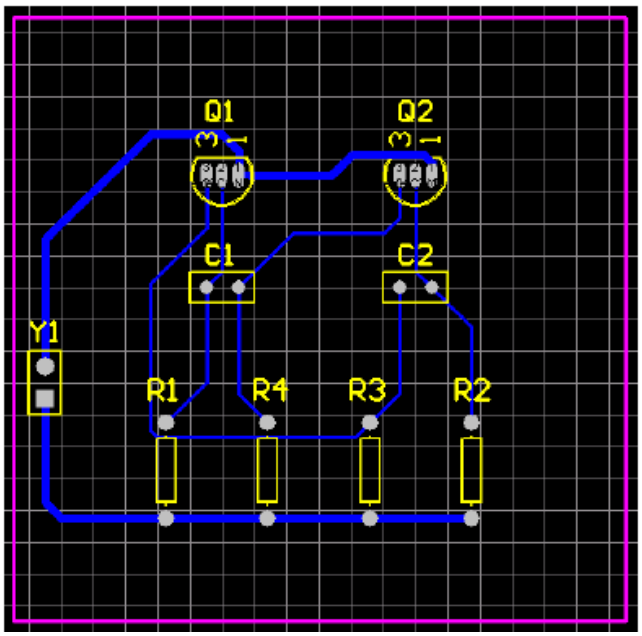
با استفاده از Tools\Interactive Placment فاصله ی مقاومت ها را تنظیم کنید.



دو بار روی خازن ها کلیک کرده و Footprint آن را به RAD-0.1 تغییر دهید.



با فشردن دکمه های P و سپس T مدار را به صورت زیر مسیریابی کنید.



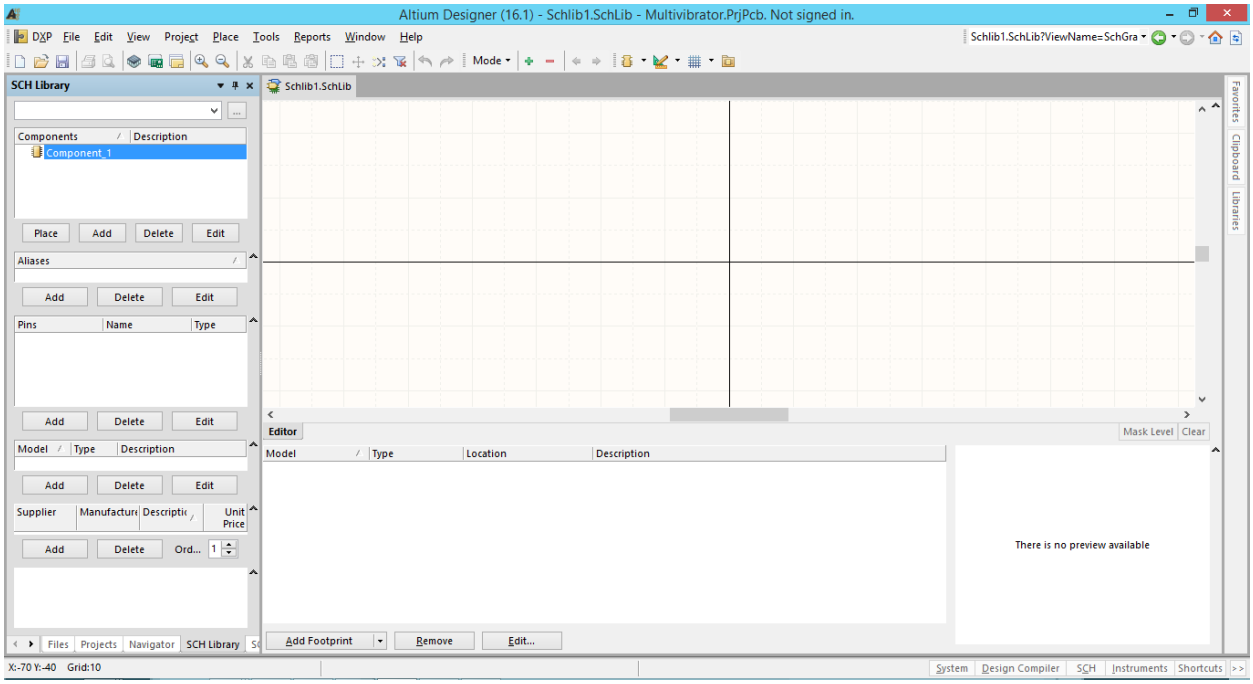
از منوی Tools ابزار Design Rule Check را اجرا نموده و خطاهای احتمالی را تصحیح نمایید.

طراحی کتابخانه ی شماتیک

ممکن است شما در برخی از موارد با توجه به نوع طراحی، به قطعه ای نیاز پیدا کنید که آن را در کتابخانه نرم افزار نیابید، در این صورت برای ساختن قطعه ای جدید . افزودن آن به کتابخانه نرم افزار به صورت زیر عمل کنید.

از مسیر File→ New → Library → Schematic Library یک کتابخانه ی شماتیک ایجاد کنید.

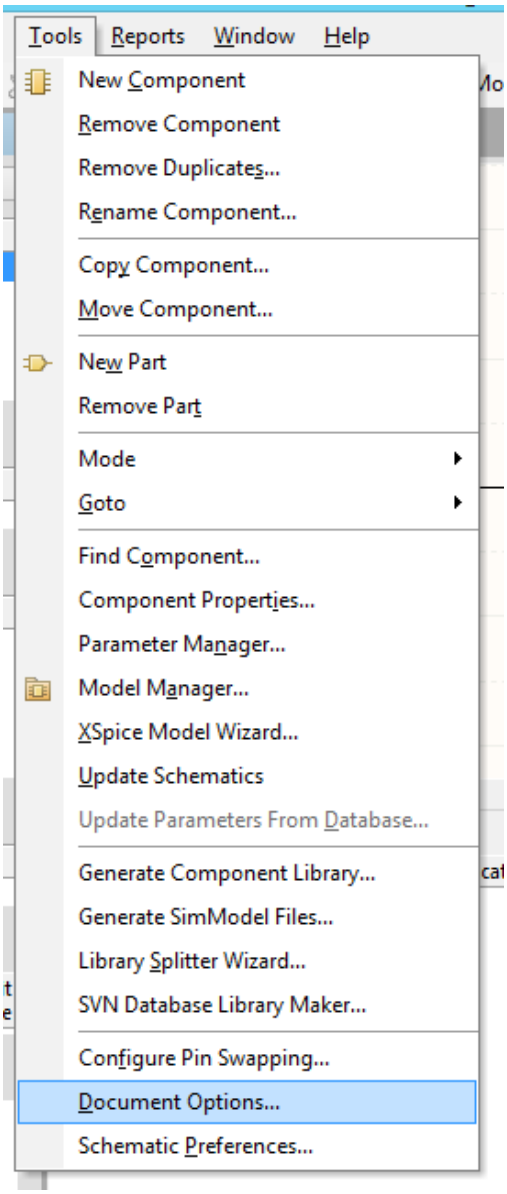
محیطی که در شکل زیر مشاهده می شود، محیط طراحی کتابخانه شماتیک است. در این محیط می توان هرگونه المان شماتیک را با ابزارهای طراحی کتابخانه شماتیک ایجاد کرد. ابتدا به طراحی کتابخانه شماتیک سنسور دما Lm35 می پردازیم.



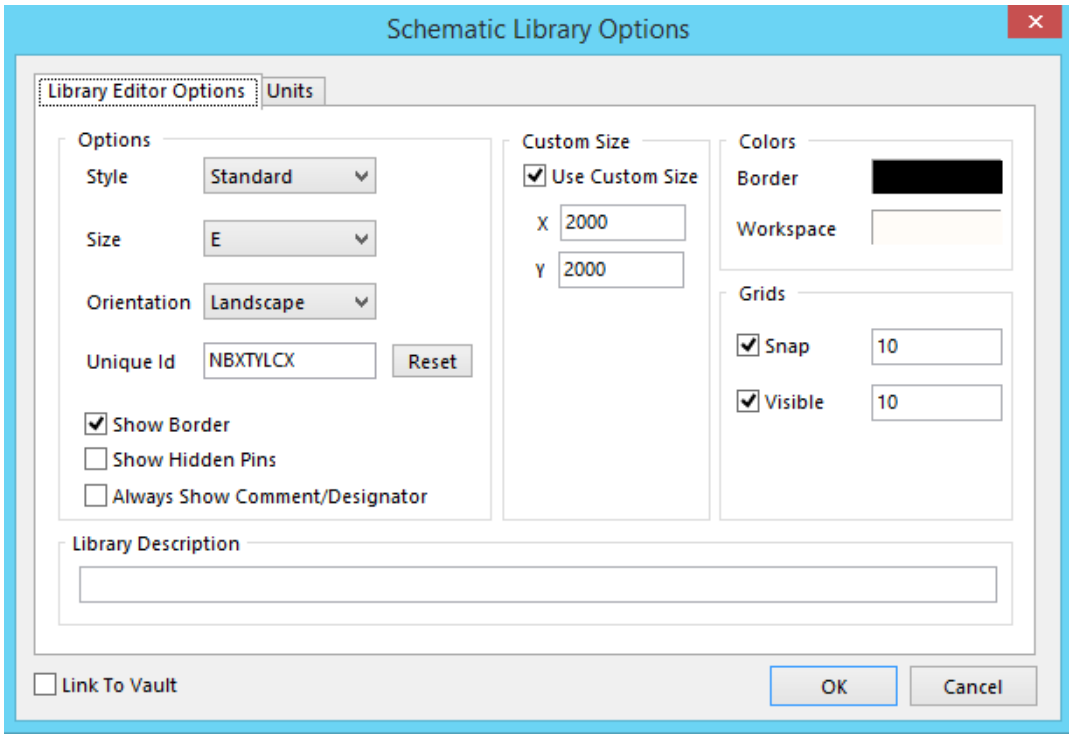
تنظیم خصوصیات محیط طراحی

قبل از ایجاد کتابخانه شماتیک، می توان خصوصیات صفحه محیط طراحی کتابخانه شماتیک را مطابق با ابعاد شکل مورد نظر و گزینه های دیگر تنظیم کرد. این تنظیمات عبارتند از تغییر ابعاد صفحه، تغییر مقیاس خطوط راهنما و تنظیماتی از این قبیل که به محیط طراحی کتابخانه شماتیک مربوط می شوند. به این منظور از مسیر زیر در منوها، گزینه Document Options را انتخاب می کنیم.

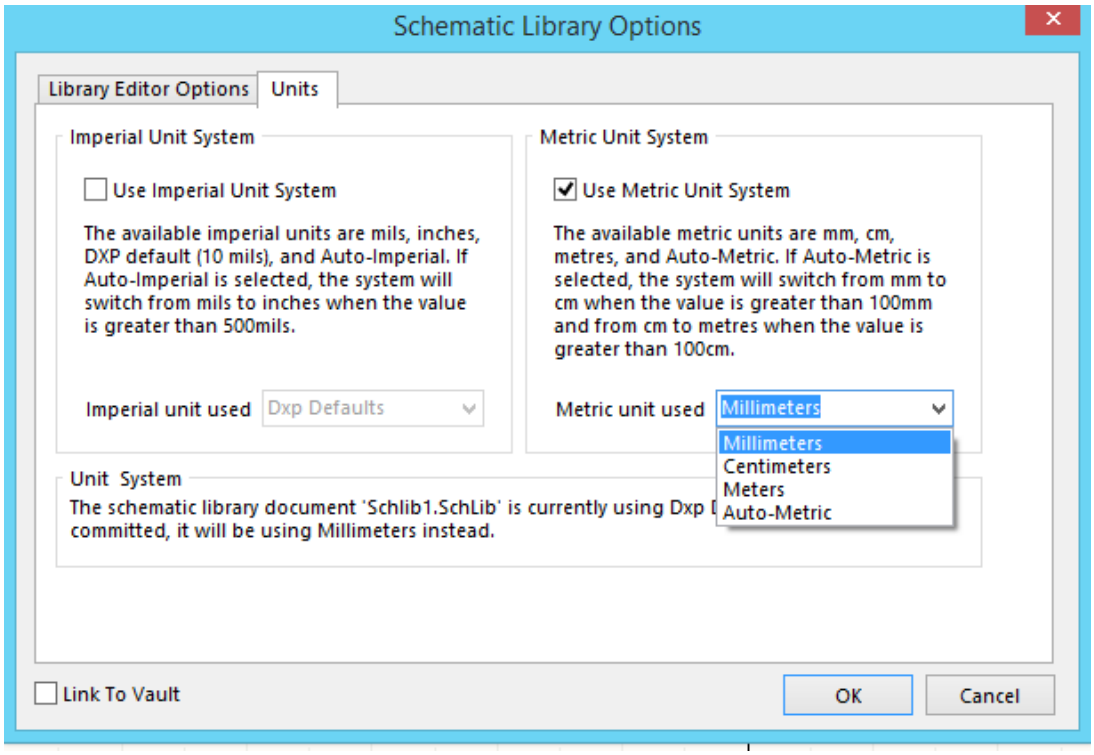
Tools→ Document Options



پس از انتخاب گزینه Document Options کادر محاوره Library Editor Workspace مطابق شکل نمایان می شود.



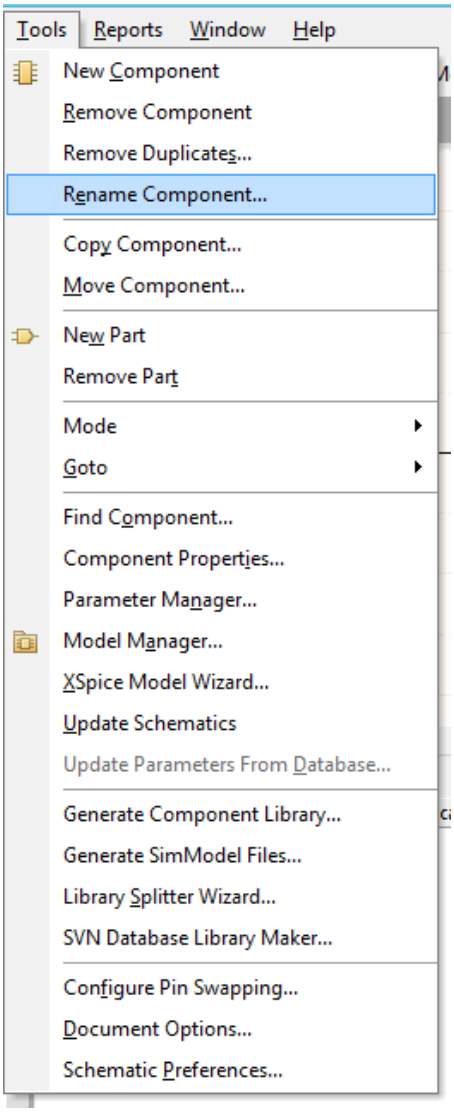
در شکل بالا می توان تنظیمات مربوط به اندازه صفحه، عمودی یا افقی بودن صفحه، مخفی یا غیر مخفی بودن Pinها و ... را می توان انجام داد. با توجه به شکل زیر می توان با انتخاب زبانه Units در کادر محاوره Library Editor Workspace می توان واحد اندازه گیری را تغییر داد.



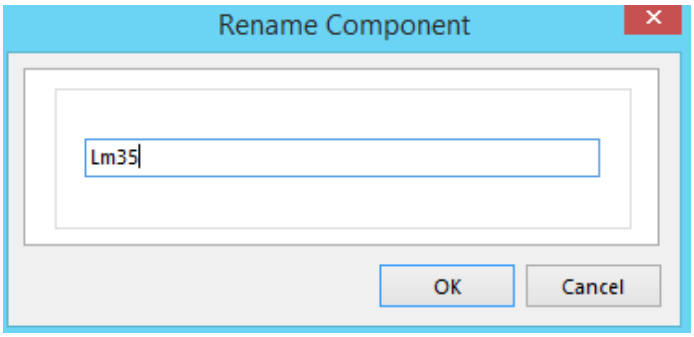
مشخص کردن نام کتابخانه شماتیک در نرم افزار

هر کتابخانه شماتیک در نرم افزار Altium Designer دارای یک نام است که توسط این نام در نرم افزار شناخته می شود. این نام مستقل از نامی است که فایل کتابخانه مورد نظر با آن ذخیره می شود. به منظور مشخص کردن این نام از مسیر زیر در منوها، گزینه Rename Component را انتخاب می کنیم.

Tools → Rename Component



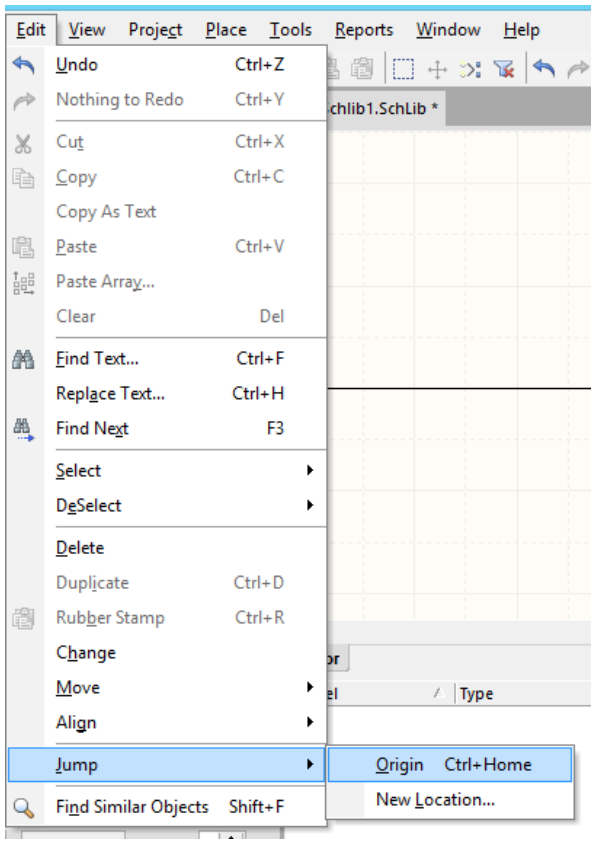
نام المان را در این کادر محاوره قرار داده و روی دکمه Ok کلیک می کنیم.



یافتن مرکز تصویر

در زمان ساخت یک المان شماتیک، همه اجزا حتما باید در مرکز محیط طراحی کتابخانه شماتیک قرار گیرند. گاهی ممکن است تصویر از مرکزخارج شود، برای بازگرداندن تصویر به مرکز محیط طراحی از مسیر زیر استفاده می کنیم.

Edit → Jump → Origin

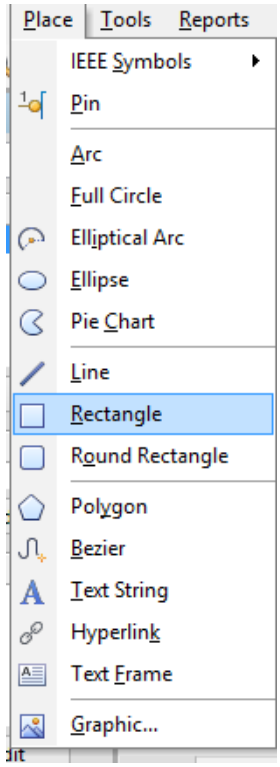


سنسور دمایی مورد نظر از نوع ۳ پایه با نام Lm35 می باشد. ۲ پایه از این سنسور مربوط به تغذیه و یک پایه دیگر مربوط به خروجی آنالوگ است. بنابراین کتابخانه شماتیک مربوط به آن شامل ۳ پایه برای اتصال و شکلی برای نمایش بدنه سنسور می باشد.

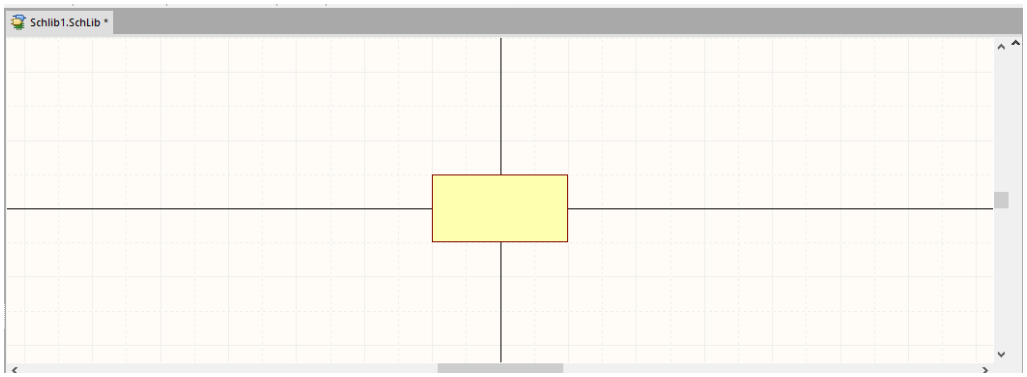
استفاده از ابزار طراحی Rectangle

برای ایجاد بدنه سنسور می توانیم از یک مستطیل و یک نام در مرکز آن استفاده کنیم. از مسیر زیر یک مستطیل انتخاب می کنیم.

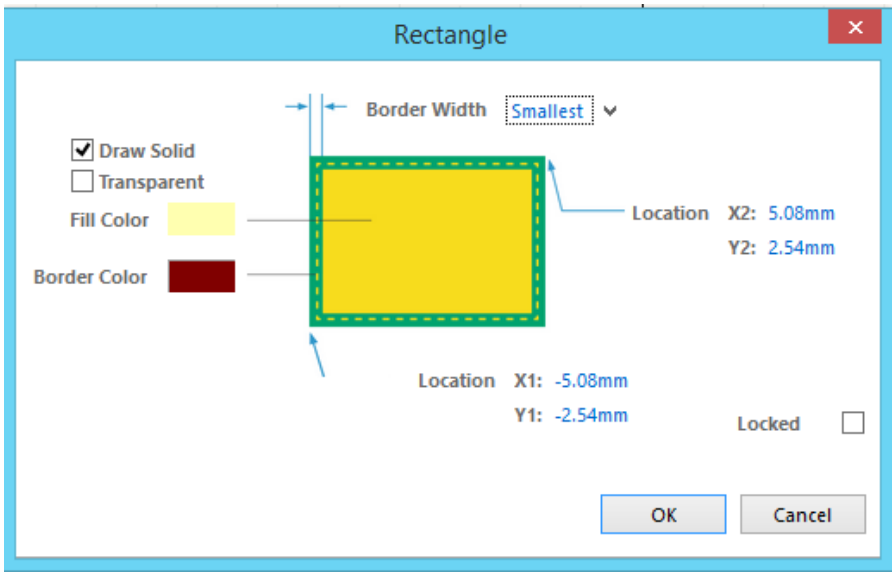
Place → Rectangle



با کلیک بر روی صفحه مستطیل در تصویر قرار می گیرد.



با دو بار کلیک بر روی مستطیل می توان خصوصیات آن را از قبیل رنگ های قسمت های مختلف یا قطر خطوط اطراف را تغییر داد.

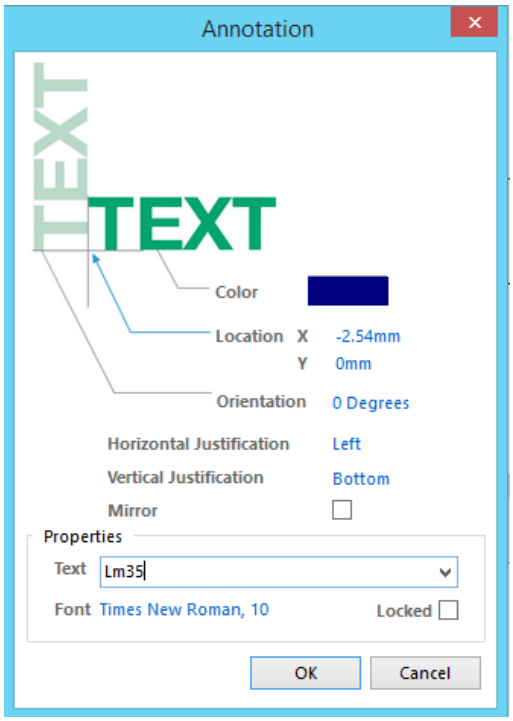


استفاده از ابزار نوشتاری Text String

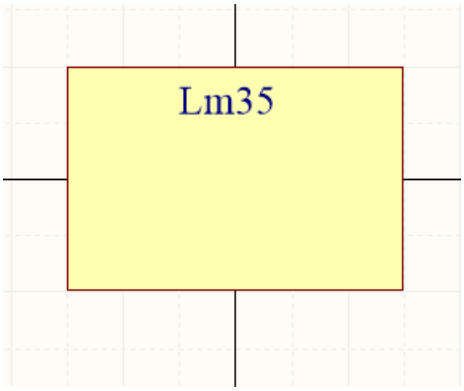
برای نمایش بهتر شکل المان در محیط شماتیک، یک نام نیز روی آن قرار می دهیم.

Place →Text String

با فشردن کلید Tab کادر Annotation نمایان می شود.



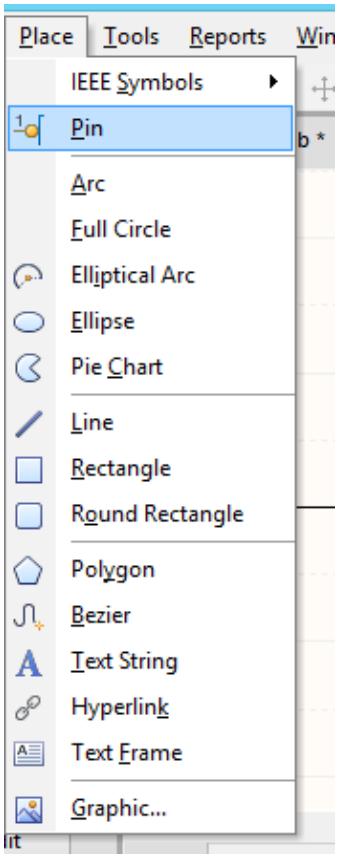
مطابق شکل زیر کلمه Lm35 را روی مستطیل رسم شده قرار می دهیم.



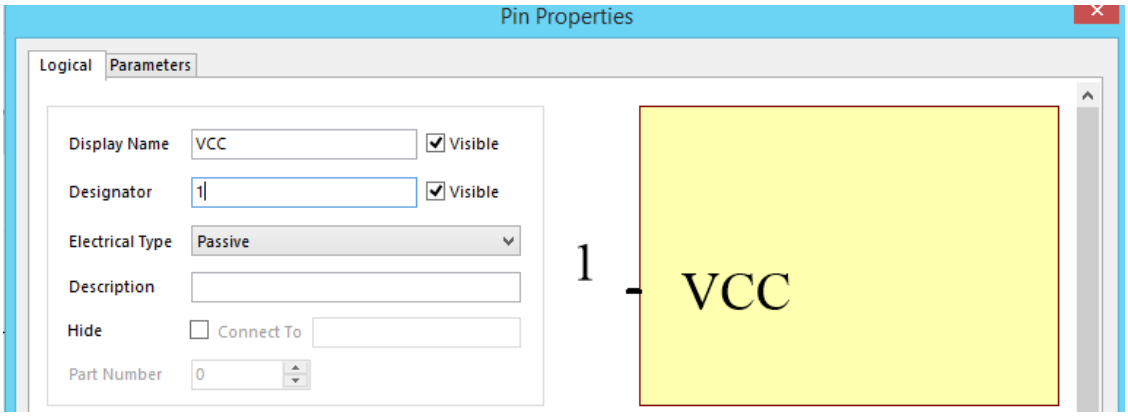
استفاده از ابزار Pin

برای استفاده از سمبل ایجاد شده به عنوان یک المان شماتیک باید نقاطی را برای اتصال به عنوان پایه های المان ایجاد کرد. این نقطه اتصال به المان، توسط ابزاری به نام Pin، صورت می گیرد. هر Pin نقش یک پایه از المان شماتیک را به طور مشخص بر عهده دارد. برای این منظور از مسیر زیر در منوها، گزینه Pin را انتخاب می کنیم.

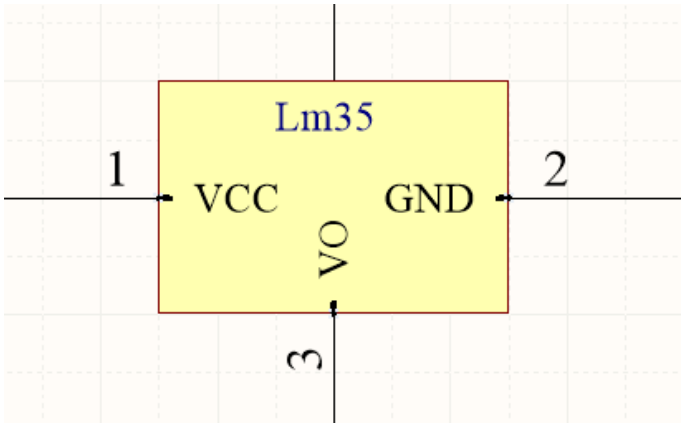
Place → Pin



پس از انتخاب ابزار Pin با فشردن کلید Tab کادر محاوره Pin Properties نمایان می شود. Display Name برای نمایش نام Pin به کار می رود. نام هایی مثل VCC یا GND یا ... اثری در عملکرد سیگنالی در طرح ندارد اما گزینه Designator نقش بسیار مهمی در عملکرد سیگنالی المان دارد که به صورت یک شماره است که از ۱ شروع می شود و معمولا طبق استاندارد شماره گذاری پایه های المان های الکترونیکی انجام می گیرد.

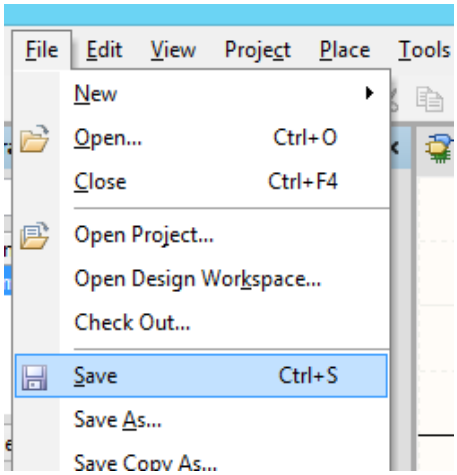


درنظر داریم پایه VCC را با همین نام و Designator شماره ۱، پایه GND را با همین نام و Designator شماره ۲ و پایه خروجی را با نام VO و Designator شماره ۳ قرار دهیم.



ساخت این کتابخانه شماتیک به پایان رسید. حال باید این کتابخانه را در یک فایل ذخیره کنیم. به این منظور از مسیر زیر در منوها، گزینه Save را انتخاب می کنیم و در کادر محاوره Save نام آن را Lm35 قرار می دهیم.

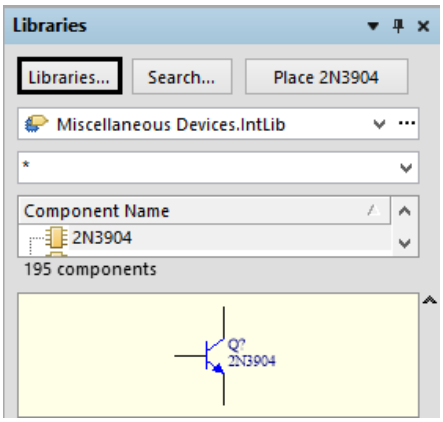
File → Save



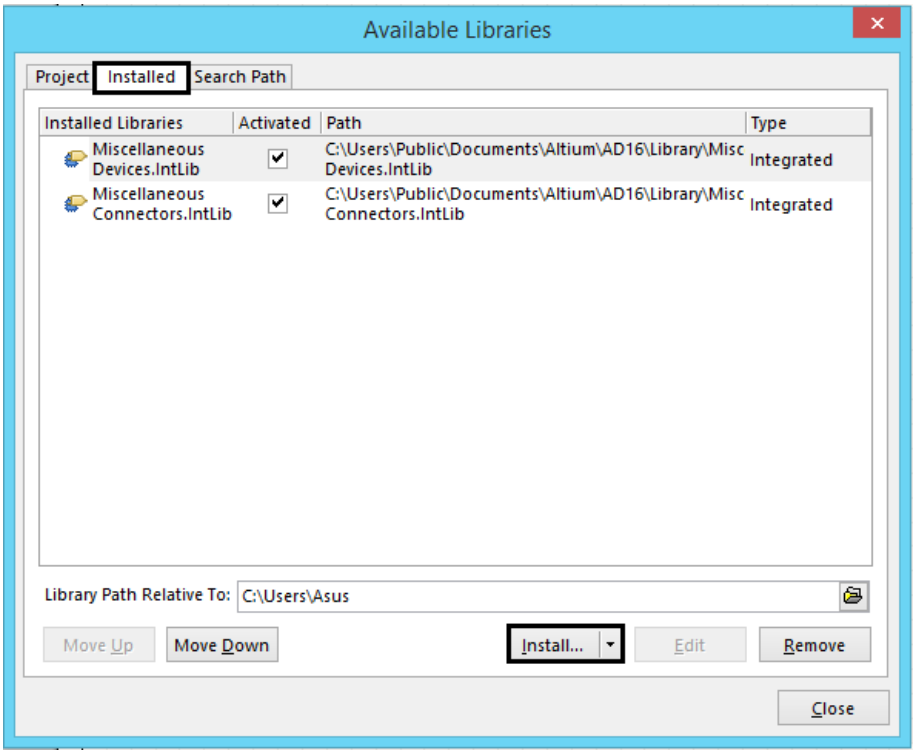
تکمیل نقشه شماتیک و جزئیات مربوط به آن

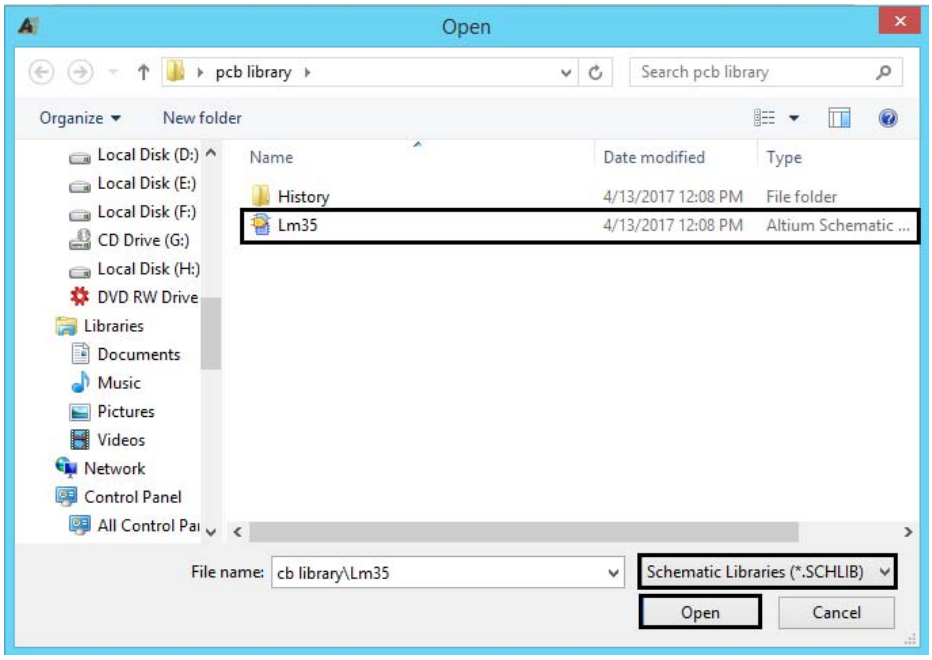
وارد کردن کتابخانه شماتیک ساخته شده به نقشه شماتیک

برای استفاده از کتابخانه شماتیک ساخته شده در نقشه شماتیک باید از کادر Libraries روی دکمه Libraries... کلیک کنید تا کادر محاوره Available Libraries نمایان شود.

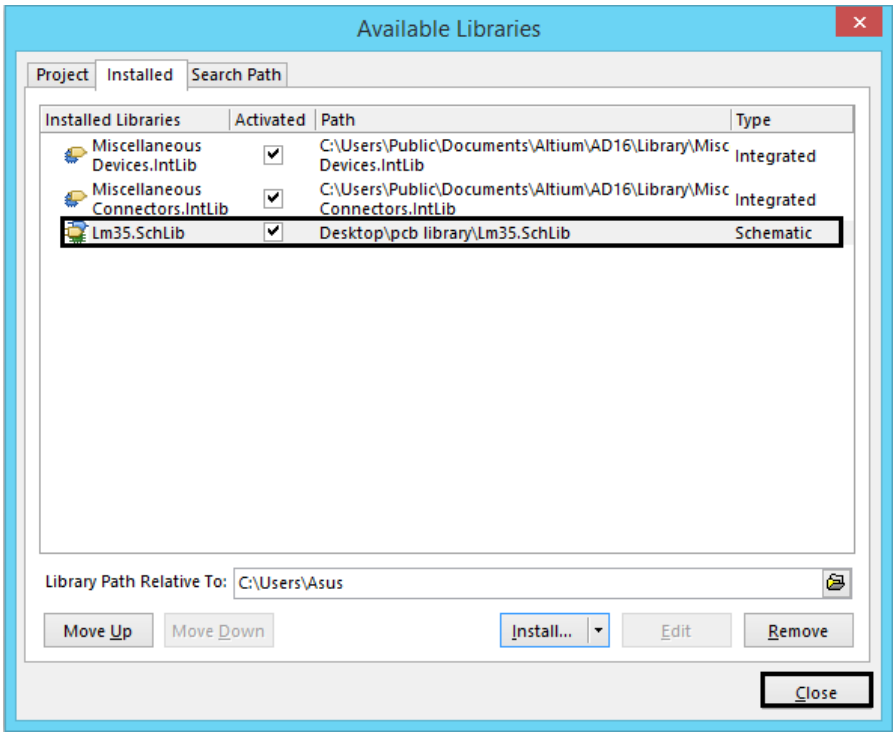


در کادر محاوره Available Libraries در زبانه Installed روی دکمه Install... کلیک کنید و در کادر Open کتابخانه شماتیک ساخته شده را انتخاب کنید.





با کلیک روی دکمه Open در کادر محاوره Open، کتابخانه شماتیک مورد نظر به لیست کتابخانه های فعال در کادر محاوره Available Libraries اضافه می شود.



با کلیک روی دکمه Place در کادر محاوره Libraries المان مورد نظر را انتخاب و پس از تنظیم کادر Component Properties به نقشه شماتیک اضافه می کنیم.

ساخت کتابخانه PCB (Footprint)

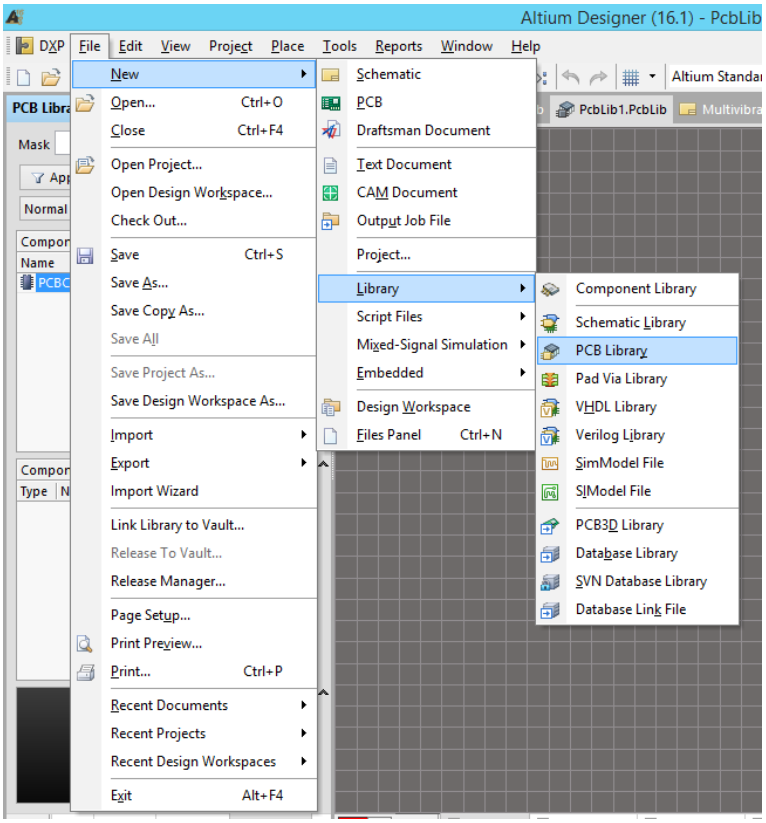
ایجاد محیط طراحی کتابخانه PCB

به دو روش می توان کتابخانه PCB یا Footprint را ایجاد کرد:

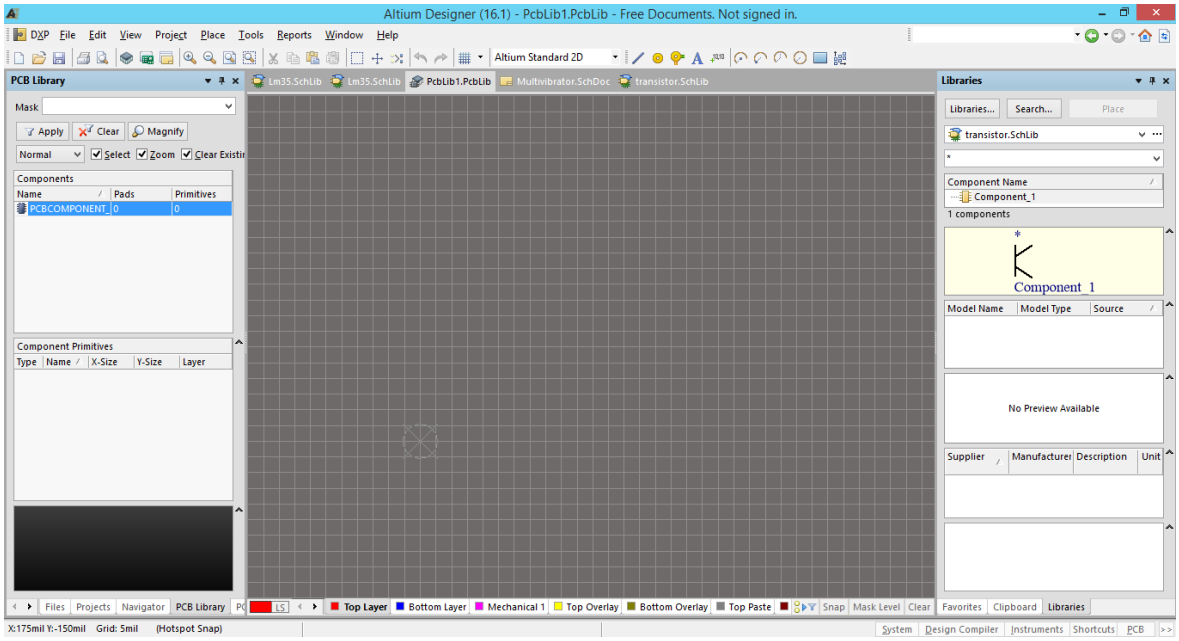
۱. ساخت Footprint به روش دستی
۲. ساخت Footprint توسط Component Wizard

در روش اول، ساخت Footprint به طور کامل توسط کاربر انجام می گیرد. اما در روش دوم که توسط ابزاری به نام Component Wizard انجام می شود، فقط باید اندازه ها و حالت المان مشخص شود، سپس Footprint مورد نظر توسط نرم افزار تولید می شود. برای هر دو روش فوق به یک محیط طراحی کتابخانه PCB نیاز داریم.

File → New → Library → PCB Library

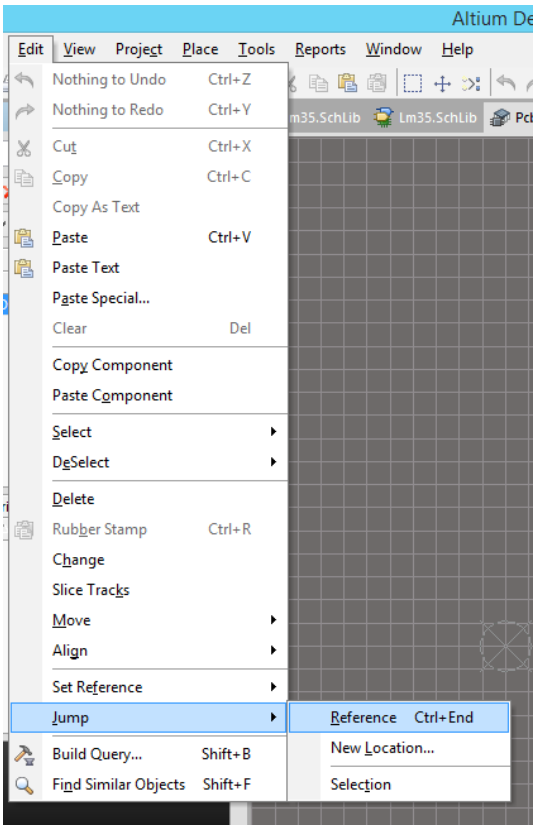


محیطی که پس از طی مسیر بالا ایجاد می شود، محیط طراحی کتابخانه PCB است که می توان هر نوع Footprint را ابزارهای موجود ایجاد کرد.



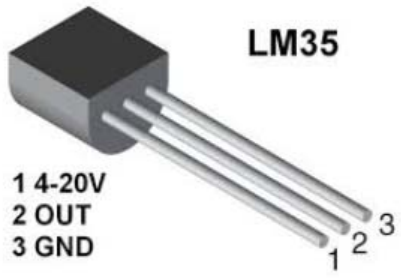
علامتی که در مرکز تصویر مشاهده می شود به این معناست که کتابخانه PCB ساخته شده، باید در مرکز این علامت قرار گیرد. اگر به هر دلیلی محل این علامت تغییر کند، می توانید از مسیر زیر در منوها یا با کلید ترکیبی میانبر Ctrl + End، گزینه Reference را انتخاب کنید و تصویر را به مرکز باز گردانید.

Edit → Jump → Reference



ساخت Footprint به روش دستی

پس از ایجاد یک محیط طراحی به ساخت مراحل اولیه یک Footprint می پردازیم. قصد داریم Footprint المان سنسور Lm35 را بسازیم. بدین منظور باید ابتدا در برگه اطلاعاتی (Datasheet) المان مورد نظر با شکل واقعی، ترتیب پایه ها و نحوه قرارگیری آن روی PCB آشنا شویم. با توجه به شکل پایین می دانیم که نحوه قرارگرفتن این المان روی فیبر مدار چاپی، به چه شکل است. این المان نیاز به ۳ عدد Pad برای پایه ها و یک شکل راهنما دارد.

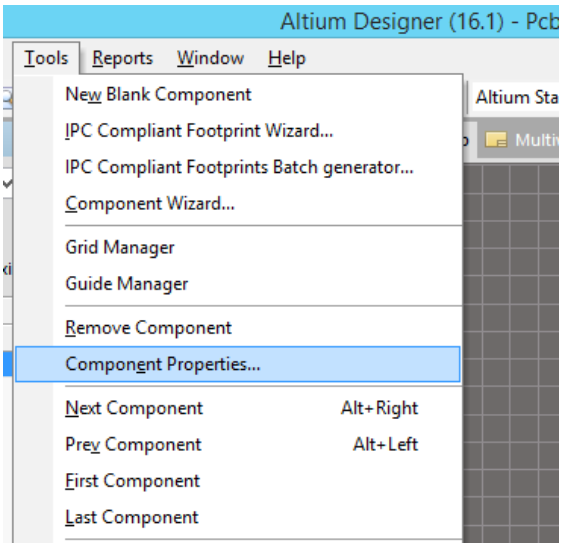


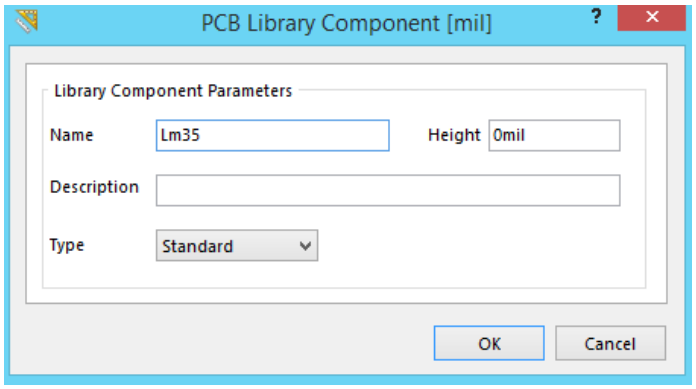
یک Footprint شامل تعدادی Pad برای قرار گرفتن پایه های المان است. اتصالات به پایه های المان از طریق Padها انجام می شود.

مشخص کردن نام کتابخانه PCB در نرم افزار

پس از ایجاد یک محیط طراحی کتابخانه PCB طبق روش بیان شده از مسیر زیر یک نام برای شناسایی این کتابخانه PCB در نرم افزار قرار می دهیم.

Tools → Component Properties



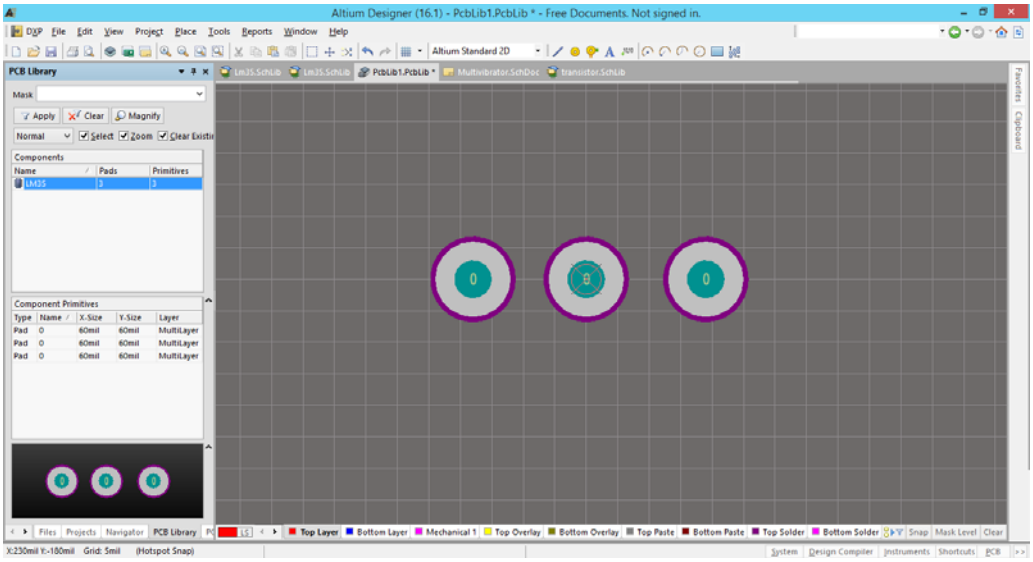


نام المان موردنظر را در کادر بالا وارد می کنیم.

استفاده از ابزار Pad

Padها محل اتصال المان واقعی به فیبر مدار چاپی است. برای ساخت Footprint سنسور Lm35 به ۳ عدد Pad نیاز داریم. از مسیر زیر ۳ عدد Pad را مطابق شکل زیر کنار هم در محیط طراحی کتابخانه PCB قرار می دهیم.

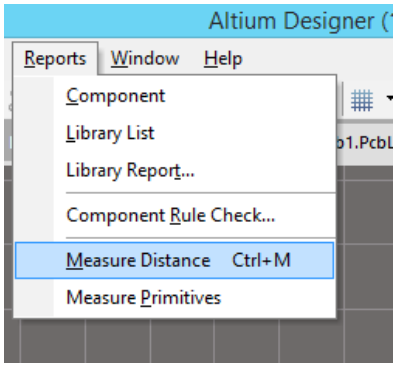
Place → Pad

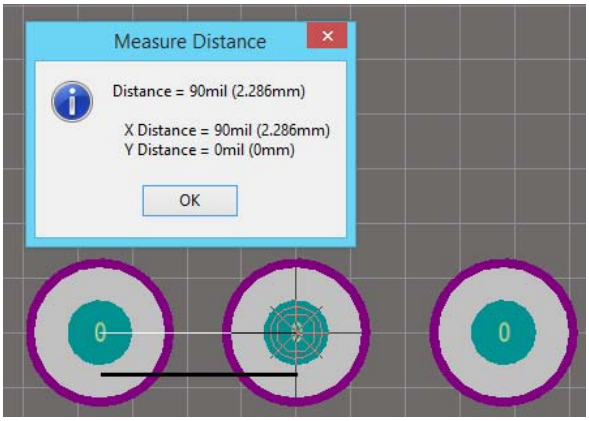


فواصل Padها از هم از مرکز Pad تا مرکز Pad بعدی اندازه گیری می شود. فاصله بین دو پایه در ICها، پین هدرها و المان های پایه دار استاندارد، مقدار 2.54 mm یا 100 mil است.

برای اندازه گیری دقیق دو نقطه می توانیم از مسیر زیر گزینه Measure Distance را انتخاب کرده یا با کلید ترکیبی Ctrl + m از صفحه کلید آن را انتخاب کنیم و در دو نقطه ای که قصد اندازه گیری آن را داریم، کلیک کنیم.

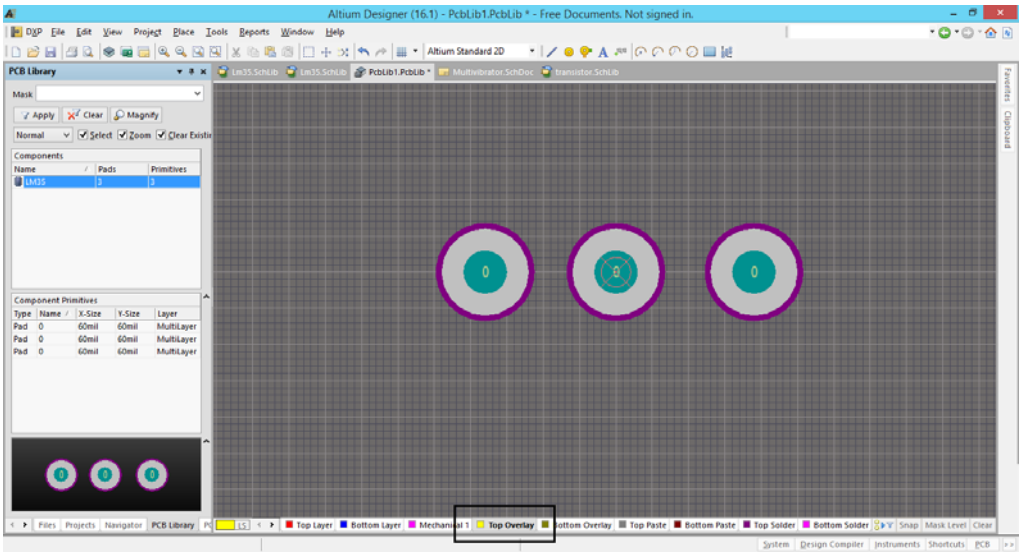
Reports → Measure Distance





با فشردن کلید Q از صفحه کلید، می توانید به صورت میانبر واحد اندازه گیری را از mm به mil و بالعکس تغییر دهید.

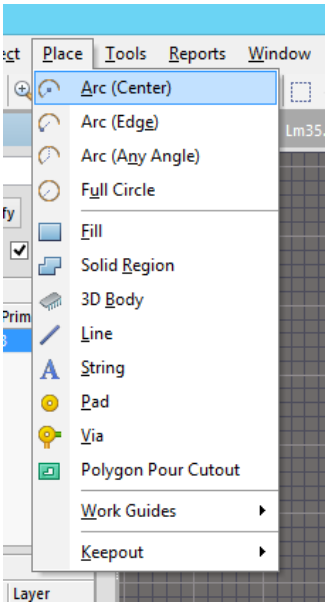
پس از قرار دادن Padها، باید در لایه راهنمای روی فیبر مدار چاپی یا Top Overlay، شکلی را به عنوان راهنمای نصب و محل قرار گیری المان، ایجاد کنیم. به این منظور از زبانه های زیر نرم افزار که مربوط به انتخاب لایه ها می باشد، زبانه Top Overlay را انتخاب می کنیم تا شکل مورد نظر در این لایه قرار گیرد. دقت شود، هر لایه دارای رنگ مختص به خود است.

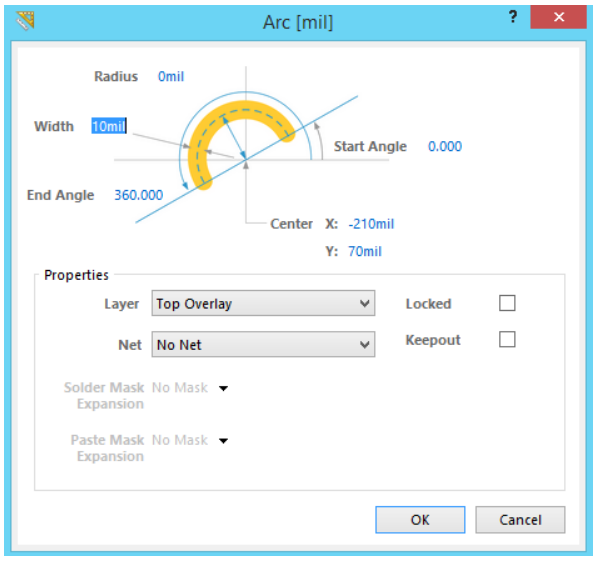


استفاده از ابزار Arc

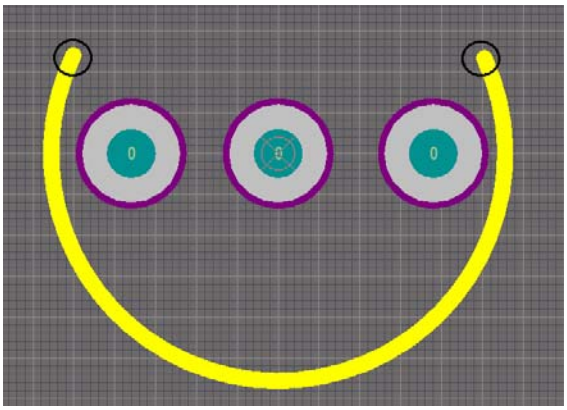
برای ایجاد چنین شکلی به دور Padها به ابزار Arc نیاز داریم.

Place → Arc(Center)





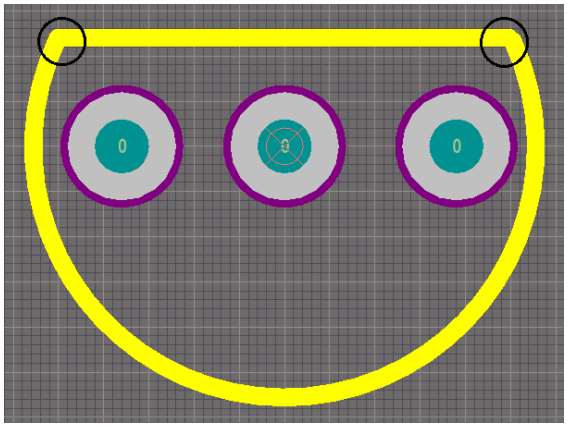
پس از تعیین خصوصیات، مکان نما را در مرکز Pad وسط قرار داده و یک بار کلیک می کنیم. حال با حرکت مکان نما و انتخاب ابتدا و انتهای کمان، آن را رسم می کنیم.



استفاده از ابزار Line

برای تکمیل شکل به یک خط نیاز داریم. به این منظور، ابزار Line را از مسیر زیر انتخاب می کنیم.

Place → Line

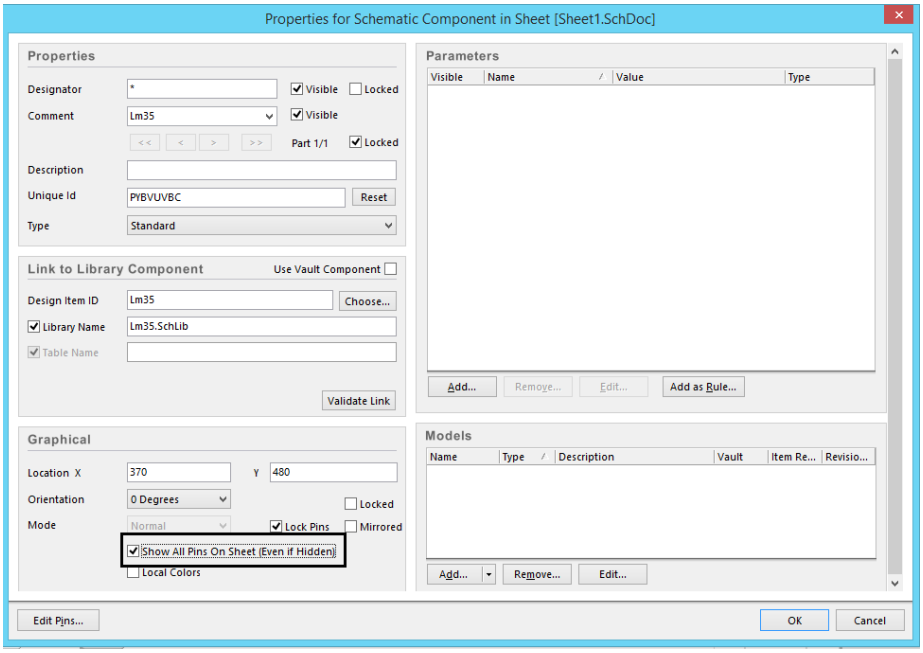


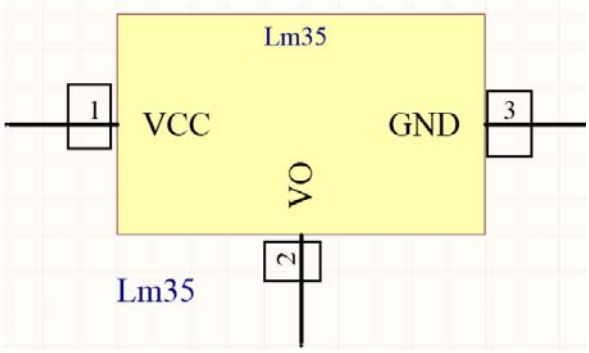
مشخص کردن Designator و خصوصیات هر Pad

پس از رسم کامل Footprint، باید خصوصیات مربوط به هر Pad را تنظیم کنیم. این مرحله مهم ترین بخش ساخت یک Footprint می باشد.

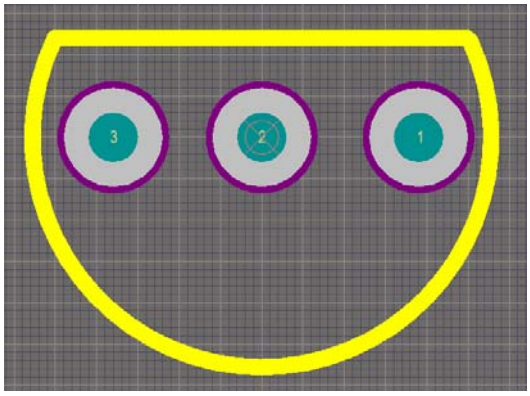
با دو بار کلیک روی هر Pad، کادر محاوره Pad نمایان می شود. قسمت Size and Shape، مربوط به قطر و شکل Pad است. قسمت Hole Information مربوط به سوراخ Pad است. در این بخش می‌توان شکل و قطر سوراخ را تغییر داد. قطر Padها معمولا ۲ برابر یا بیشتر از ۲ برابر قطر سوراخ Pad در نظر گرفته می شود. قسمت Properties، دارای اهمیت زیادی می باشد. در این قسمت Net، Layer و Designator قرار دارد. Layer، لایه ای را که Pad در آن قرار دارد مشخص می کند. Padهای سوراخ دار که برای المان های پایه دار استفاده می شوند، همه در Multi-Layer می باشند. Net، اتصال Pad مربوطه را به نقاط دیگر مدار مشخص می کند. پس از انتقال طرح از محیط شماتیک به محیط PCB، Netهای Padهای یک Footprint تعیین می شود. هر Pad دارای یک Designator است که مهم ترین عامل در ساخت یک Footprint است. Designator هر Pad عددی است که از ۱ شروع می شود که ترتیب عددگذاری در Designator هر Pad برای یک المان، ارتباط مستقیم با Designator هر Pin در کتابخانه شماتیک آن دارد. با توجه به شکل واقعی المان، مشخص است که اگر این المان روی فیبر مدار چاپی نصب شود، پایه GND در سمت راست، پایه VO در وسط و پایه VCC در سمت چپ است. پایه سمت راست GND است، شماره Designator برای Pin مربوط به GND در کتابخانه شماتیک، عدد ۳ است بنابراین Designator برای Pad سمت راست، عدد ۳ است. بقیه Designatorها نیز به همین شکل مشخص می شود.

برای مشاهده Designator هر Pin در کتابخانه شماتیک مورد نظر، ابتدا باید به محیط شماتیک بازگردیم. محیط شماتیک را انتخاب می کنیم. المان مورد نظر را به صفحه شماتیک آورده و با دوبار کلیک روی المان، با فعال کردن علامت Show All Pin On Sheet(Even if Hidden) و کلیک روی دکمه OK، شماره های مربوط به Designator هر Pin از المان شماتیک، روی آن نمایش داده می شود.



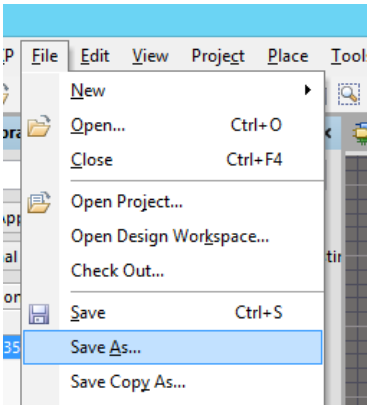


شکل زیر Footprint نهایی را نشان می دهد.



ساخت کتابخانه PCB یا Footprint المان سنسور Lm35 به روش دستی به پایان رسید، حال باید کتابخانه PCB ساخته شده را ذخیره کنیم. به این منظور از مسیر زیر، کتابخانه PCB را ذخیره می کنیم.

File → Save As

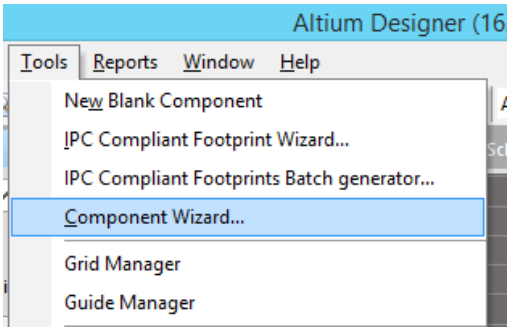


ساخت Footprint توسط ابزار Component Wizard

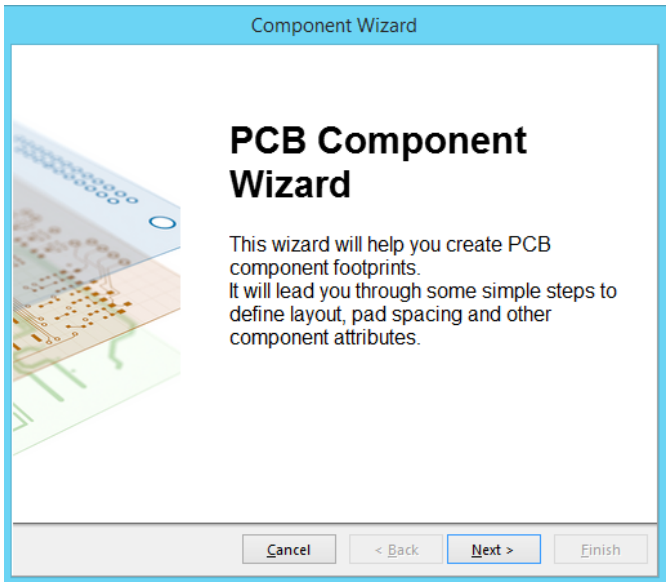
نرم افزار دارای ابزار دیگری برای ساخت Footprintها در مدت زمان بسیار کم و دقت بالا است. این ابزار Component Wizard نام دارد. توسط این ابزار به راحتی می توانیم Footprintهای بزرگ و با تعداد پایه های زیاد را به راحتی و در مدت زمان کوتاهی ایجاد کنیم. قصد داریم Footprint تراشه ATMega32 که دارای ٤٠ پایه است را توسط این ابزار ایجاد کنیم. برای این منظور نیاز به اندازه های قسمت های مختلف این المان داریم. این اندازه ها در برگه اطلاعاتی المان مورد نظر، موجود است.

برای ساخت Footprint این المان، ابتدا یک محیط طراحی کتابخانه PCB را طبق مراحل گفته شده ایجاد کرده و سپس از مسیر زیر ابزار Component Wizard را انتخاب می کنیم.

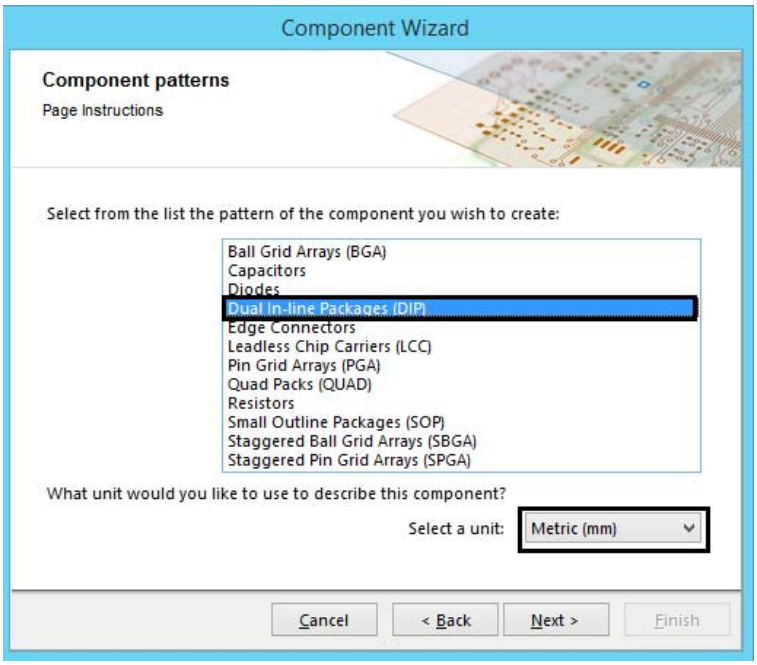
Tools → Component Wizard



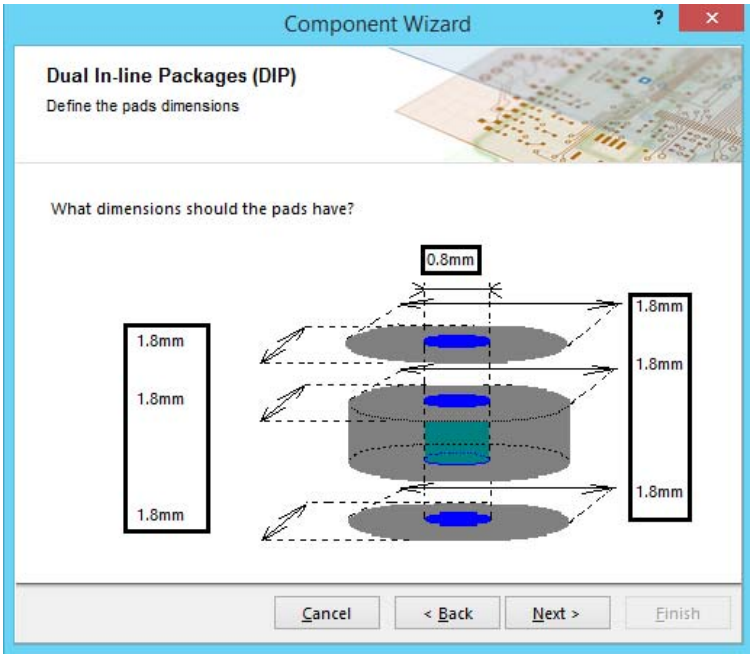
کادر محاوره Component Wizard مطابق شکل زیر نمایان می شود.

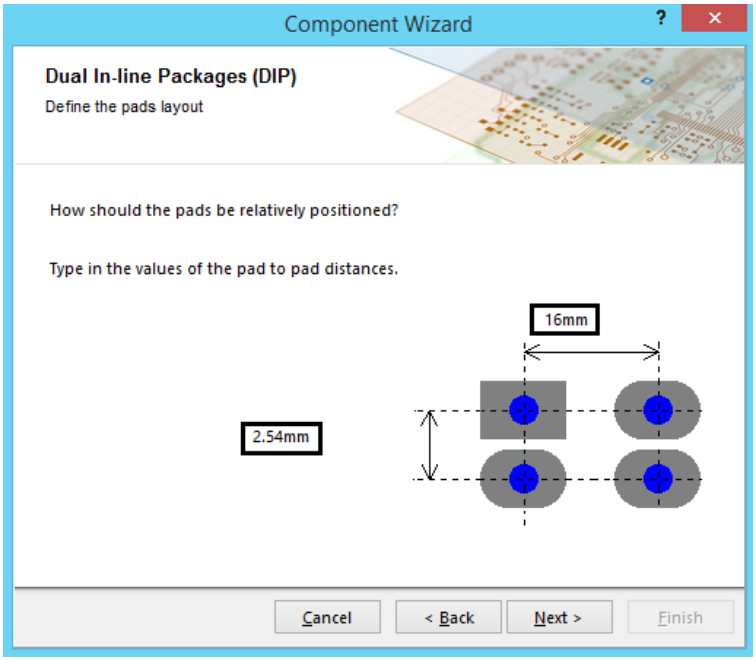


با کلیک روی Next وارد مرحله دوم از مسیر ساخت می شویم. باید نوع المان و واحد اندازه گیری را مشخص کنیم. بسته‌بندی‌های مختلف المان الکترونیکی از جمله BGA, DIP, LCC, PGA, QUAD, … مشاهده می شود. در لیست مذکور، گزینه ی Dual In Line Packages (DIP) و واحد میلی متر را برای اندازه گیری انتخاب می کنیم.

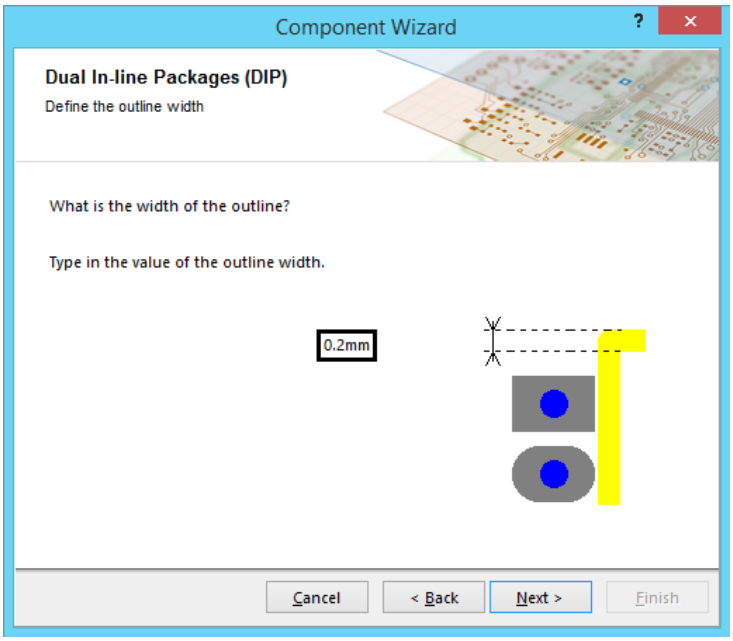


با کلیک روی Next وارد مرحله سوم از مسیر ساخت می شویم. در این مرحله باید قطر اصلی هر Pad و قطر سوراخ Pad مشخص شود. قطر هر پایه به طور میانگین 0.5 mm است. بنابراین قطر هر سوراخ را 0.8 mm در نظر می گیریم. این نوع Pad جزء Padهای معمولی می باشد، بنابراین قطر 1.8 mm برای آن مناسب است. هر Pad دارای اندازه ای روی محور X و اندازه ای روی محور Y است که هر دوی آن ها برای Padهای دایره ای باید به طور مساوی تنظیم شود. نکته دیگری که در این مرحله وجود دارد ۳ ناحیه مختلف از یک Pad است که در اینجا هر ۳ ناحیه را با اندازه های مساوی قرار می دهیم. این نواحی برای فیبرهای مدار چاپی دورو و چند لایه به کار می رود. پس از تنظیم قطرها با کلیک روی Next وارد مرحله چهارم از مسیر ساخت می شویم.

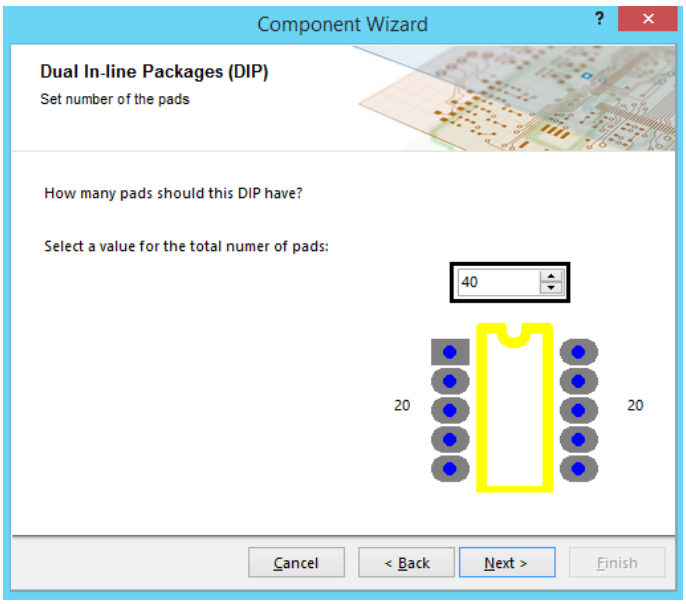




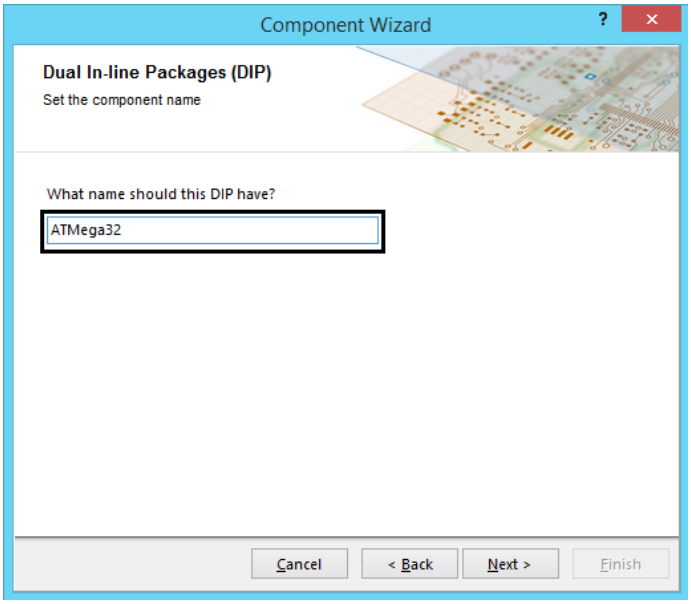
در مرحله بالا باید فاصله هر دو پایه به صورت عمودی و افقی مشخص شود. فاصله بین دو پایه کنار هم در Icها به طور استاندارد 2.54 mm یا 100 mil است. با توجه به برگه اطلاعاتی فاصله افقی به طور میانگین 16 mm است. با کلیک روی Next وارد مرحله پنجم از مسیر ساخت می شویم.



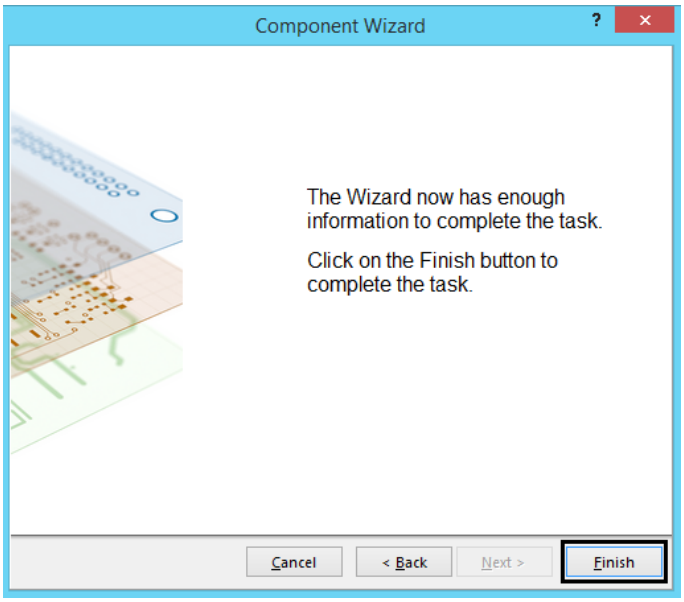
در مرحله پنجم باید قطر خطوط راهنما برای Footprint مور نظر مشخص شود. قطر 0.2 mm برای این منظور مناسب است. اگر این قطر کمتر انتخاب شود، ممکن است خطوط پس از چاپ روی فیبر مدار چاپی کمرنگ یا در نواحی منقطع شود. روی Next کلیک کرده و وارد مرحله ششم می شویم. در این مرحله باید تعداد پایه های IC مورد نظر مشخص شود. این المان دارای ٤٠ پایه است. که در هر طرف دارای ٢٠ پایه است. با کلیک روی Next وارد مرحله هفتم از مسیر ساخت می شویم.



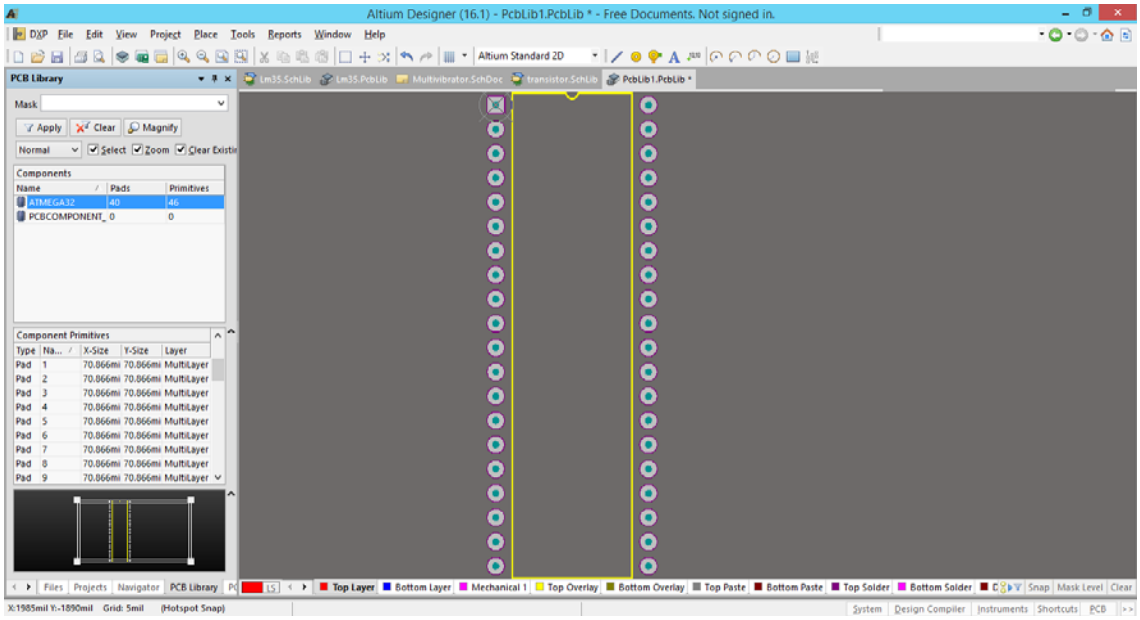
مرحله هفتم که در شکل زیر مشاهده می شود مشابه عملی است که در زمان ساخت Footprint به روش دستی در بخش Component Properties انجام دادیم. در مرحله هفتم باید یک نام برای شناسایی این Footprint در نرم افزار قرار دهیم. این نام با نامی که Footprint با آن ذخیره می شود، متفاوت است. پس از مشخص کردن یک نام با کلیک روی دکمه Next وارد مرحله هشتم می شویم.



مرحله هشتم، مرحله پایانی است. با کلیک روی دکمه Finish کتابخانه PCB مورد نظر با تنظیمات مورد نظر به طور خودکار ساخته می شود.



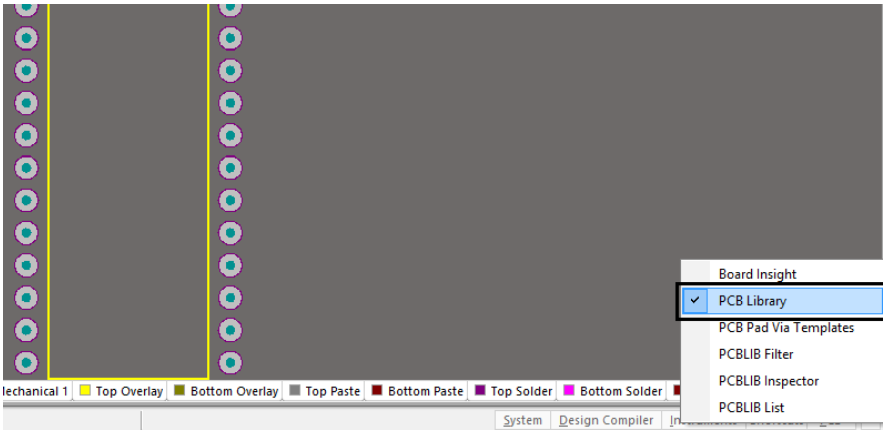
این کتابخانه PCB در شکل زیر مشاهده می شود.



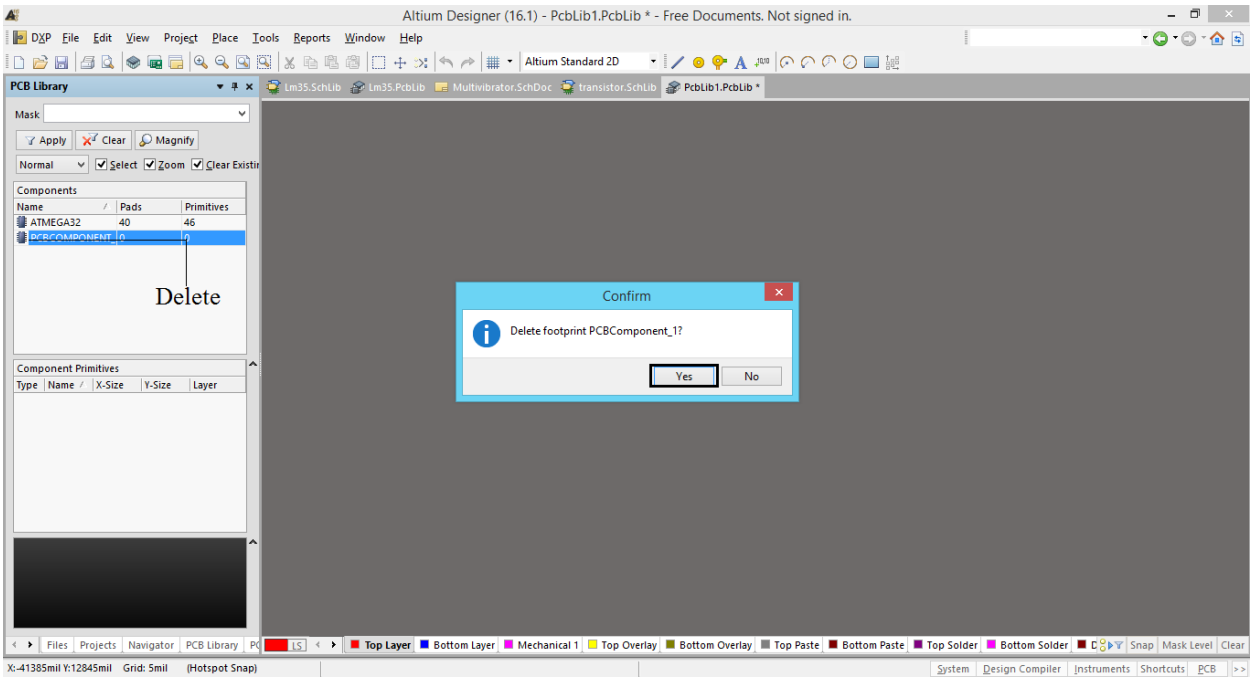
نکته: در این حالت Designatorهای هر Pad نیز به طور خودکار طبق استاندارد ICهای DIP، شماره گذاری می‌شود.

نکته: دقت شود قبل از ذخیره کتابخانه PCB مذکور محیط خالی را که در ابتدا ساخته شده است حذف کنید. زیرا ابزار Component Wizard محیط جدیدی را برای خود ایجاد می کند.

به این منظور طبق شکل زیر از منوی PCB در زیر نرم افزار گزینه PCB Library را انتخاب می کنیم.



با انتخاب این گزینه، طبق شکل زیر در بخش کنترل، در سمت چپ محیط طراحی کتابخانه PCB، زبانه PCB Library نمایان می شود.

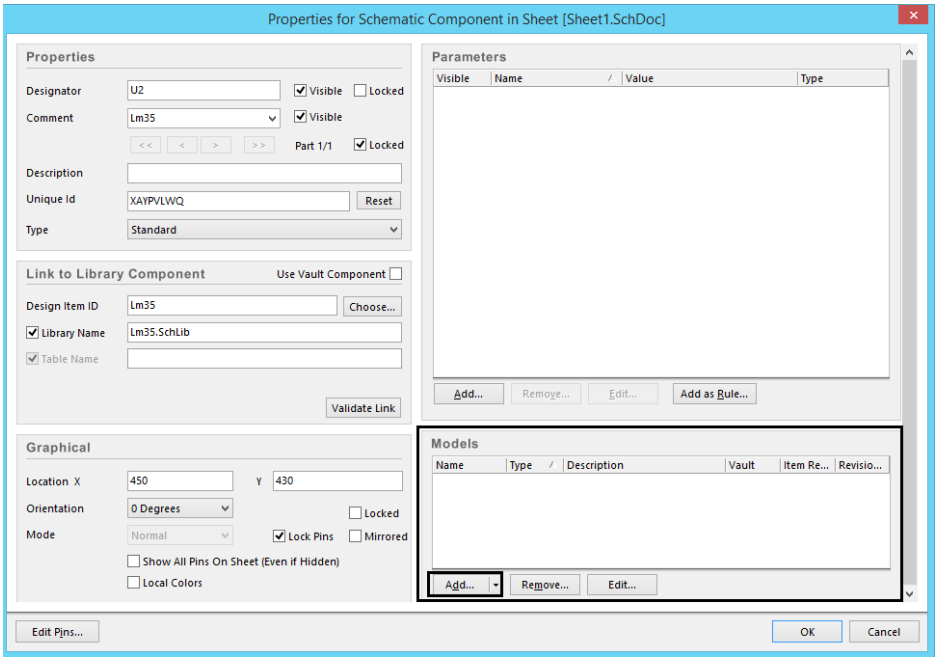


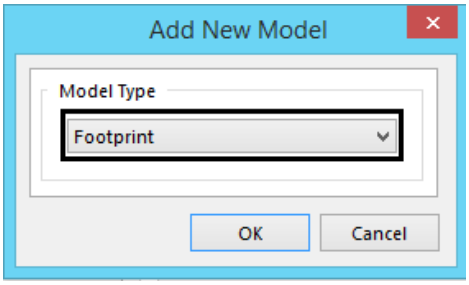
در زبانه PCB Library و در بخش Name تنها باید یک نام وجود داشته باشد و آن نامی است که در مرحله هفتم ساخت Footprint توسط ابزار Component Wizard به آن اختصاص دادیم. هر گزینه ی دیگری بجز گزینه مورد نظر باید حذف شود.

حال می توان مشابه روش ذخیره کتابخانه PCB در مرحله ساخت به روش دستی، کتابخانه مذکور را ذخیره کرد. اگر المانی با شکل غیر معمول در طرحی استفاده شود که برگه اطلاعاتی آن نیز در دسترس نباشد، باید توسط ابزار کولیس، به طور کامل اندازه گیری شود و Footprint آن طبق روش های بیان شده، ایجاد شود. پس از ساخت Footprintها، باید آن ها را به المان های مربوط به خود در محیط شماتیک اختصاص دهیم.

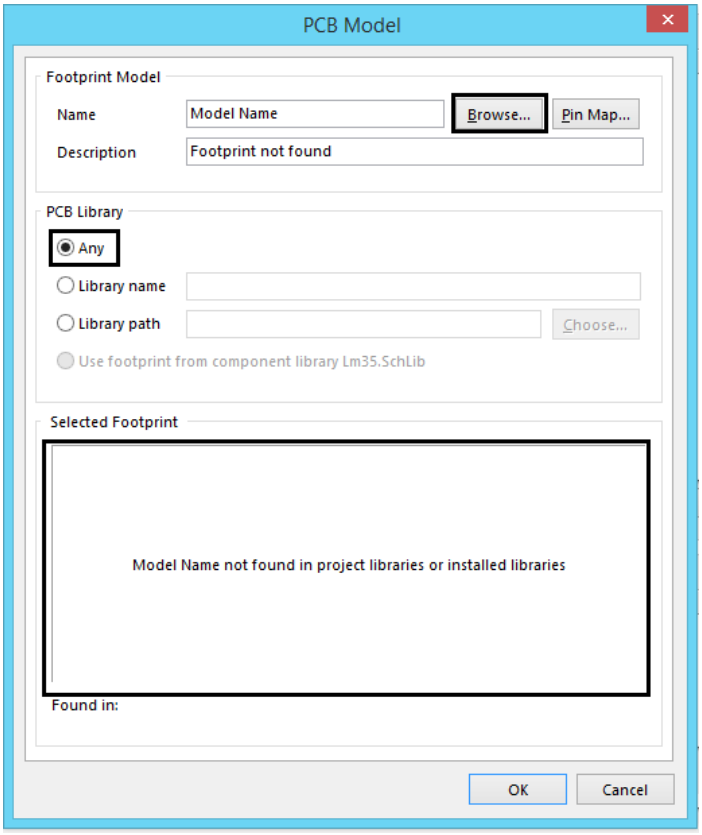
تخصیص Footprint به کتابخانه ساخته شده

پس از ساخت Footprintهای مورد نظر، باید آن‌ها را به کتابخانه های شماتیک مربوط به خود، اختصاص دهیم. قصد داریم Footprint المان سنسور دما Lm35 را به کتابخانه شماتیک آن تخصیص دهیم. به این منظور در محیط شماتیک روی المان Lm35 دو بار کلیک کنید تا کادر Component Properties نمایان شود. در بخش Models روی دکمه Add کلیک کنید تا کادر Add New Model نمایان شود.

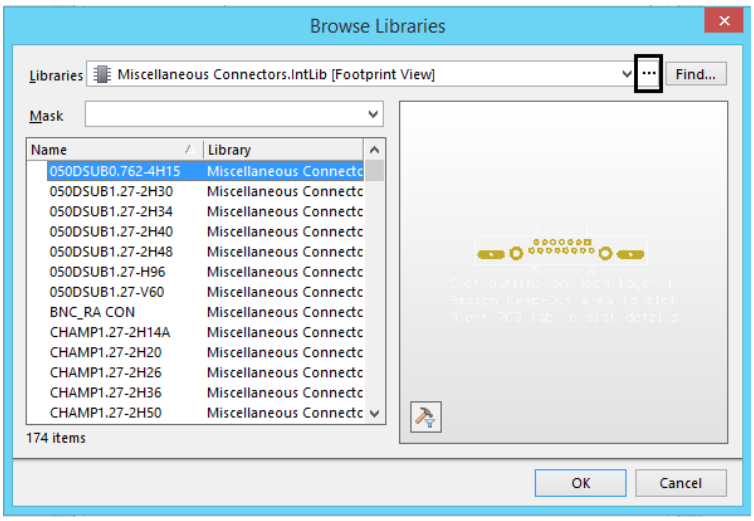




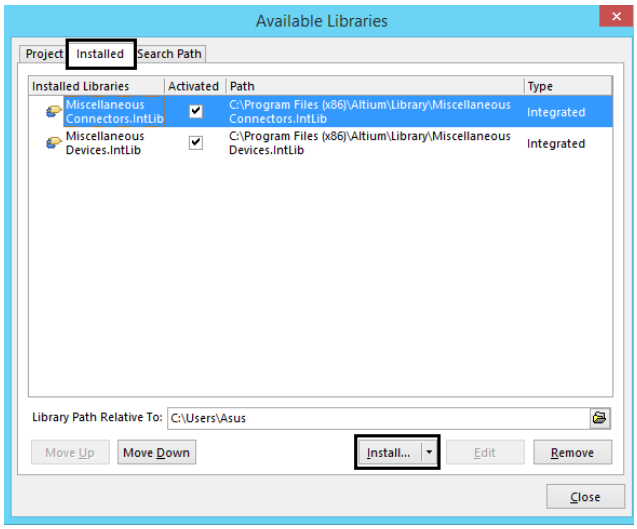
در کادر Add New Model لیست بازشوی Model Type را روی گزینه Footprint قرار داده و روی OK کلیک می کنیم. کادر PCB Model مطابق شکل زیر نمایان می شود.



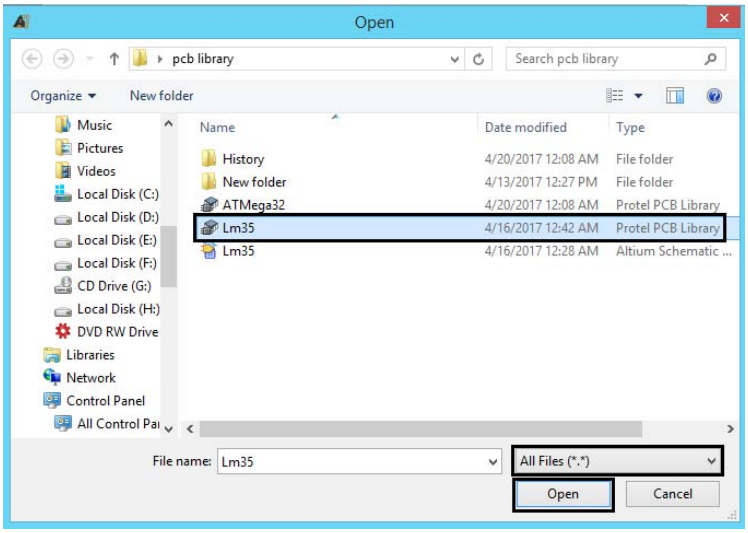
در کادر PCB Model در بخش PCB Library گزینه Any را انتخاب کرده و روی دکمه Browse... کلیک می کنیم. کادر Browse Libraries باز می شود.



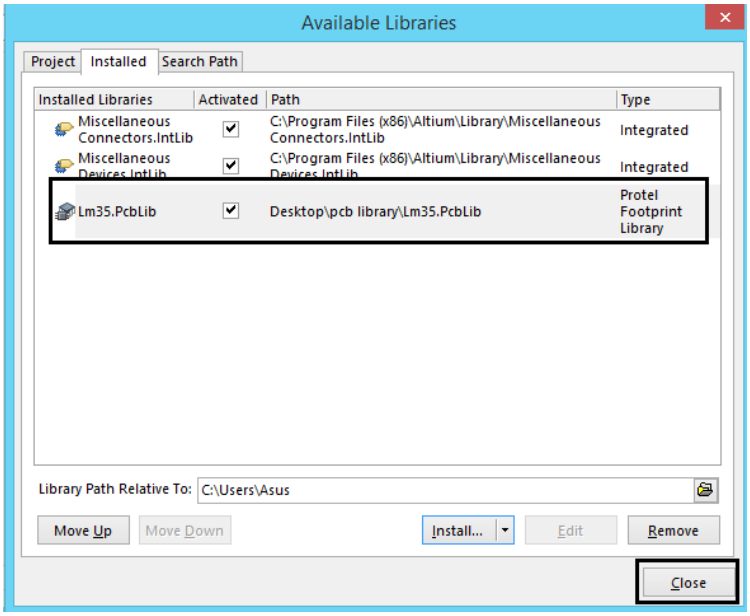
در کادر Browse Libraries روی دکمه ... کلیک کنید تا کادر Available Libraries نمایان شود.



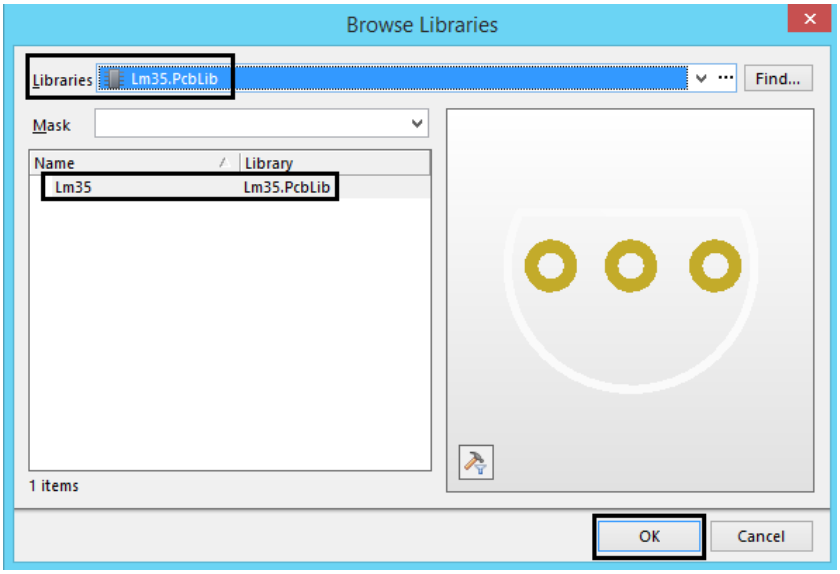
در کادر Available Libraries در زبانه Installed روی دکمه Install… کلیک کنید و در کادر Open مسیر محلی را که Footprint مربوطه را در آنجا ذخیره کرده اید، مشخص کنید.

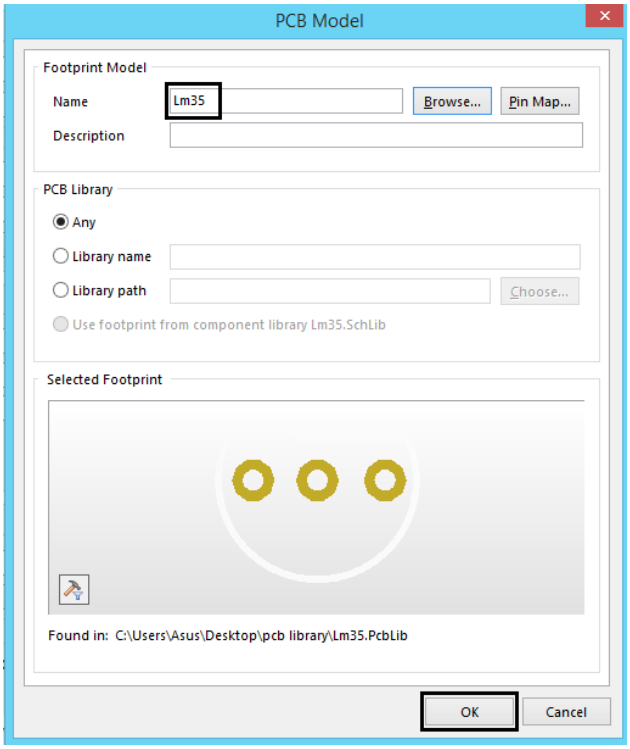


پس از کلیک روی دکمه Open کتابخانه مذکور به لیست کتابخانه های فعال نرم افزار اضافه می شود.

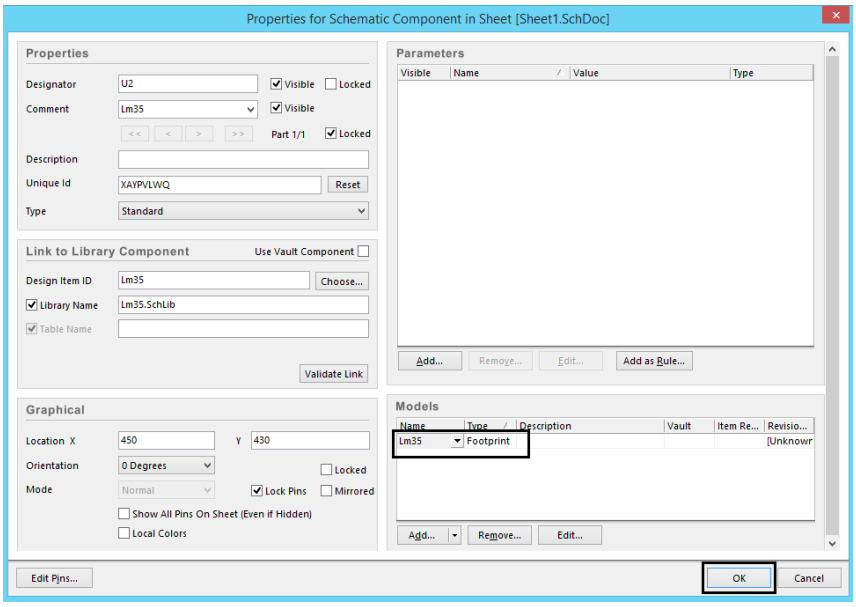


حال باید مسیر طی شده تا یافتن Footprint مورد نظر را تایید کنیم و به عقب برگردیم. به این منظور روی دکمه Close در کادر Available Libraries کلیک می کنیم. با کلیک روی دکمه OK به منظور تایید Footprint مذکور در کادر Browse Libraries کادر مذکور را بسته و کادر PCB Model نمایان می شود.





در کادر PCB Model، شکل و نام Footprint مذکور قرار گرفته است. روی OK کلیک می کنیم. مشاهده می شود که در بخش Models گزینه Footprint با نام Lm35 اضافه شده است. روی دکمه OK کلیک کرده و به محیط شماتیک باز می‌گردیم.



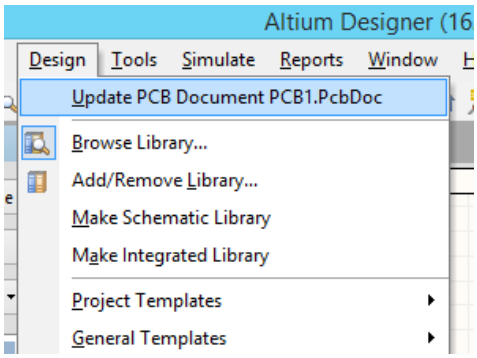
طبق روش بیان شده برای تخصیص Footprint به عناصر شماتیک، می توان Footprint مربوط به عناصر دیگر را نیز به همین روش تخصیص داد.

مراحل اولیه در محیط PCB

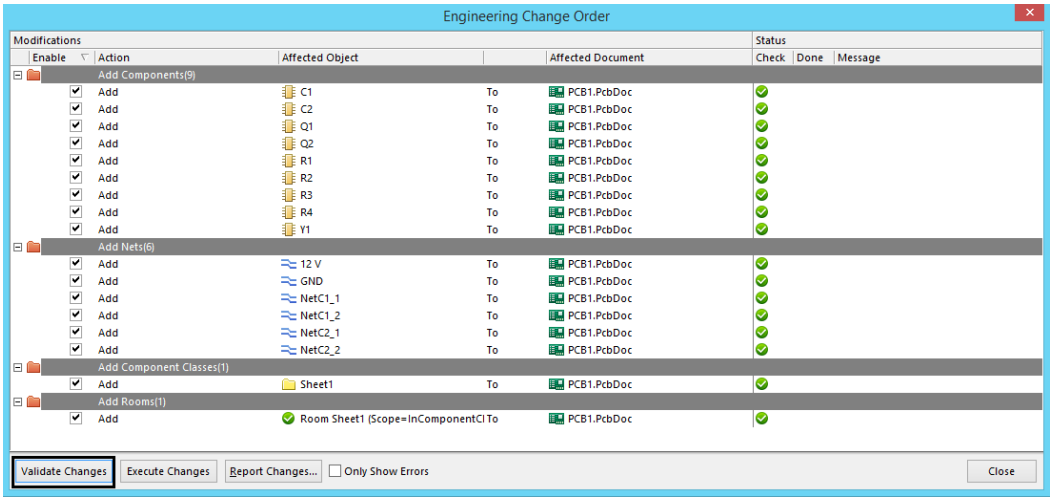
انتقال نقشه از محیط شماتیک به PCB

برای انتقال طرح از محیط شماتیک به محیط PCB در محیط طراحی شماتیک قرار گرفته و از مسیر زیر گزینه Update PCB document را انتخاب می کنیم.

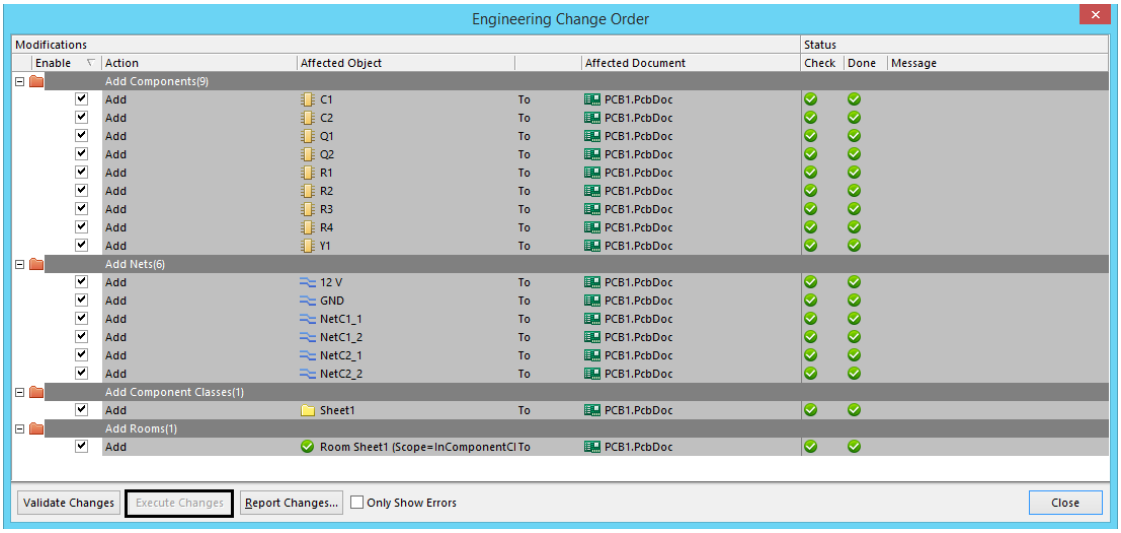
Design → Update PCB document



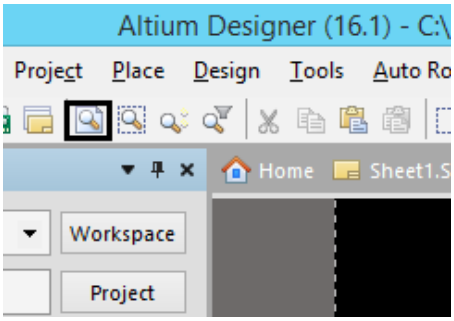
در کادر محاوره Engineering Change Order روی دکمه Validate Change کلیک کنید. اگر تمام تغییرات مورد تائید قرار گیرند تیک های سبز رنگی در لیست وضعیت ظاهر خواهند شد. اما اگر تغییرات مورد تائید قرار نگرفتند کادر محاوره را ببندید، پانل Massage را بررسی کنید و خطاها را اصلاح نمایید.



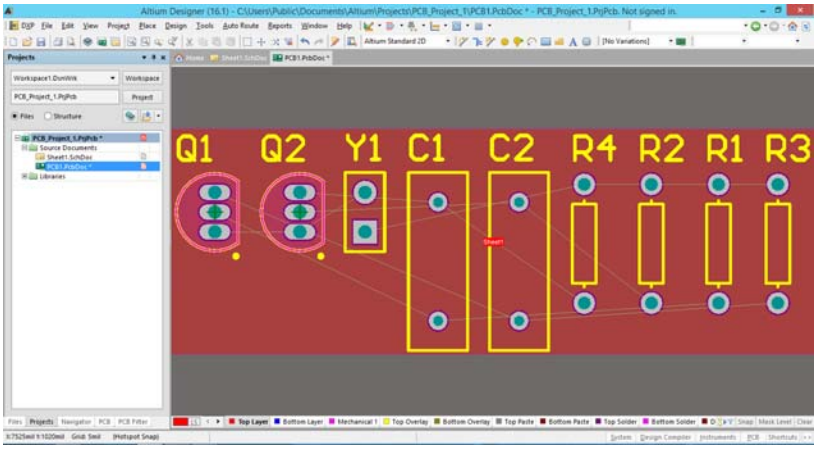
در کادر محاوره Engineering Change Order با کلیک روی دکمه Execute Changes، کتابخانه PCB هر عنصر با کتابخانه شماتیک آن بررسی شده و به محیط PCB انتقال پیدا می کند.



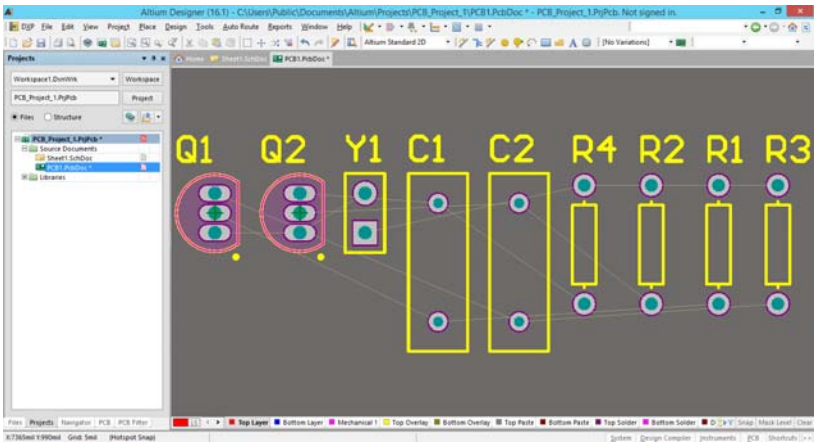
روی Close کلیک می کنیم، به محیط PCB انتقال پیدا می کنیم. در این حالت Footprintها در تصویر مشاهده نمی شوند، برای رویت کامل تصویر می توان از نوار ابزار بالای محیط PCB گزینه Fit Document را انتخاب کرد یا از کلید ترکیبی میانبر Ctrl + Page Down استفاده کرد.



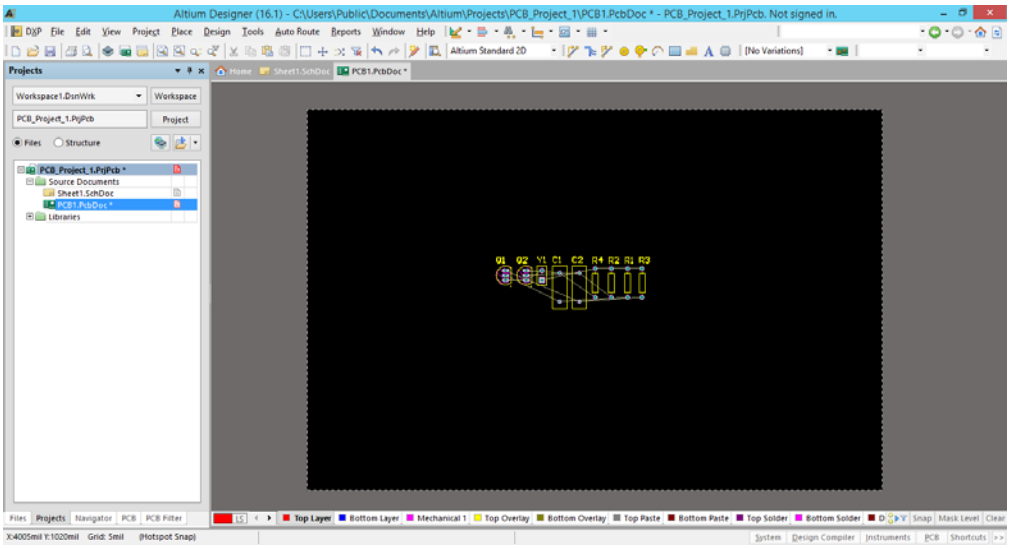
همه ی Footprintها روی صفحه ای قرمز رنگ قرار گرفته اند که در مرکز آن نام فایل شماتیک قرار دارد و مشخص می کند که این المان ها از کدام شماتیک انتقال پیدا کرده اند.



روی صفحه قرمز کلیک می کنیم و کلید Delete را از روی صفحه کلید فشار می دهیم، تا صفحه قرمز حذف شود.



باید Footprintها را به محیط اصلی PCB انتقال دهیم. برای انتقال Footprintها به محیط اصلی PCB می توان آنها را به صورت دسته ای انتخاب کرد سپس روی آن ها کلید ماوس را نگه داشته و به محیط اصلی PCB حرکت داد.



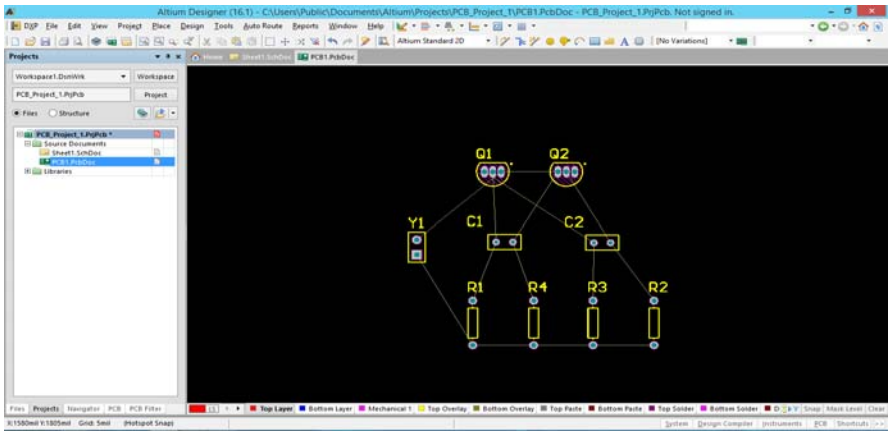
تغییر اندازه محیط اصلی PCB

اگر محیط اصلی PCB کوچکتر از تعداد Footprintها باشد و گنجایش نقشه PCB را نداشته باشد، می توان این محیط را گسترش داد.

Design ⟶ Board Shape ⟶ Redefine Board Shape

چیدمان المان ها در سطح PCB

یکی از مهم ترین عامل ها در طراحی یک فیبر مدار چاپی یا PCB، چیدمان صحیح و اصولی المان ها در کنار یکدیگر است. چیدمان المان ها باید به گونه ای باشد که نه تنها استفاده از فضای فیبر مدار چاپی بهینه باشد، بلکه شرایط مناسب برای قرارگیری المان ها، دسترسی به کانکتورها و شکل کلی فیبر مدار چاپی نیز بهینه باشد. شکل زیر چیدمان مناسبی را برای نقشه مورد نظر، نشان می دهد.



چیدمان المان ها در سطح PCB به پایان رسید اما هنوز چارچوبی به عنوان جدا کننده محیط المان ها از بقیه سطح PCB مشخص نشده است. به این منظور باید محیط برش فیبر مدار چاپی در لایه مربوط به آن رسم شود. اما قبل از آن به تنظیمات لایه ها در محیط PCB می پردازیم.

لایه های طراحی در محیط PCB

۱. **لایه های سیگنالی رو و زیر فیبر مدار چاپی (Top Layer, Bottom Layer)**: ارتباط بین المان ها توسط این لایه ها صورت می گیرد.
۲. **لایه های راهنمای رو و زیر فیبر مدار چاپی (Top Overlay, Bottom Overlay)**: خطوط راهنما و متون راهنما در این لایه ها قرار می گیرند.
۳. **لایه محافظ رو و زیر فیبر مدار چاپی (Top Solder, Bottom Solder, Top Paste, Bottom Paste)**: نقشه لایه های محافظ در این لایه ها قرار می گیرند.
٤. **لایه های سوراخ کاری (Drill Guide, Drill Drawing)**: نقشه سوراخ کاری فیبر مدار چاپی در این لایه ها قرار می گیرد.
٥. **لایه مکانیکی (Mechanical Layer)**: حجم های طراحی شده برای Footprintهایی که حالت سه بعدی دارند در این لایه قرار می گیرد.
٦. **لایه همه منظوره (Multi-Layer)**: Padهای سوراخ دار و Viaها در این لایه قرار می گیرند.
۷. **لایه محیط برش (eep-Out LayerK)**: محیط اصلی برش فیبر مدار چاپی در این لایه قرار می گیرد.

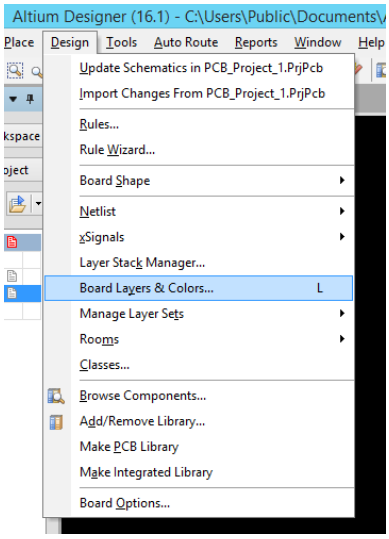
لایه های سیگنالی را می توان تا چند ده لایه افزایش داد (برای فیبرهای مدار چاپی چند لایه). لایه های بیان شده، لایه های اصلی در طراحی می باشند. موارد دیگری نیز وجود دارد که جزء موارد سیستمی می باشند و به عملکرد نرم افزار در محیط طراحی مربوط می شوند. به طور مثال، خطوط راهنمای سطح PCB، نمایش خطاها، Netها و ... از این قبیل می باشند. این موارد عبارتند از:

۱. **Netهای موجود بین Footprintها (Default Color for New Nets)**: توسط این گزینه می توان Netهای موجود در بین Footprintها را که مسیر اتصالات را نشان می دهد.، نمایان یا غیر نمایان کرد.

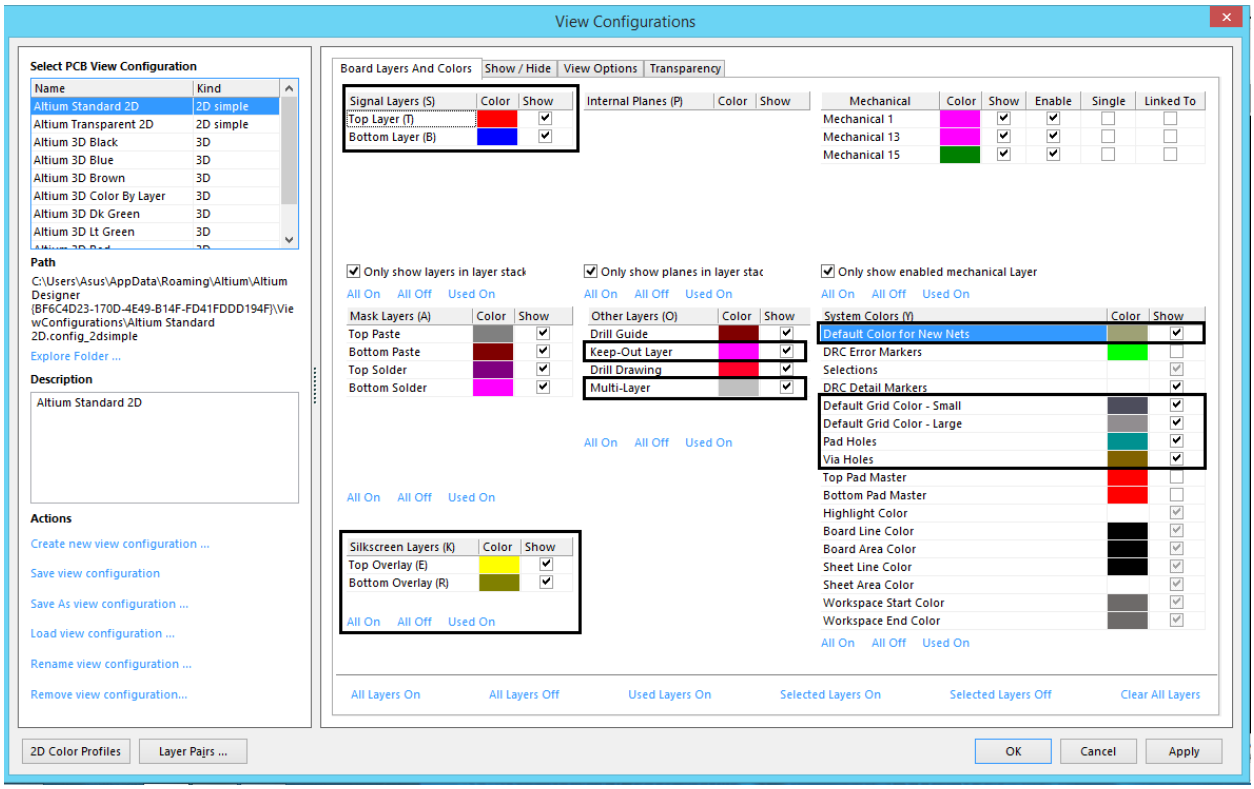
۲. **خطاهای موجود در سطح PCB (DRC Error Markers)**: توسط این گزینه می توان نمایش خطاها در سطح PCB و موارد غیر عادی را نمایان یا غیر نمایان کرد.
۳. **خطوط راهنمای سطح PCB (Visible Grid 1, Visible Grid 2)**: توسط این دو گزینه می توان خطوط راهنمای شبکه ای در سطح PCB را نمایان یا غیر نمایان کرد.
٤. **سوراخ های Padها و سوراخ های Viaها (Pad Holes, Via Holes)**: توسط این دو گزینه می توان سوراخ Padها و Viaها را در سطح PCB، نمایان یا غیر نمایان کرد.

برای دسترسی به بخش کنترل لایه ها در محیط PCB می توان از مسیر زیر با فشردن کلید L از صفحه کلید، کادر محاوره View Configurations را نمایان کرد.

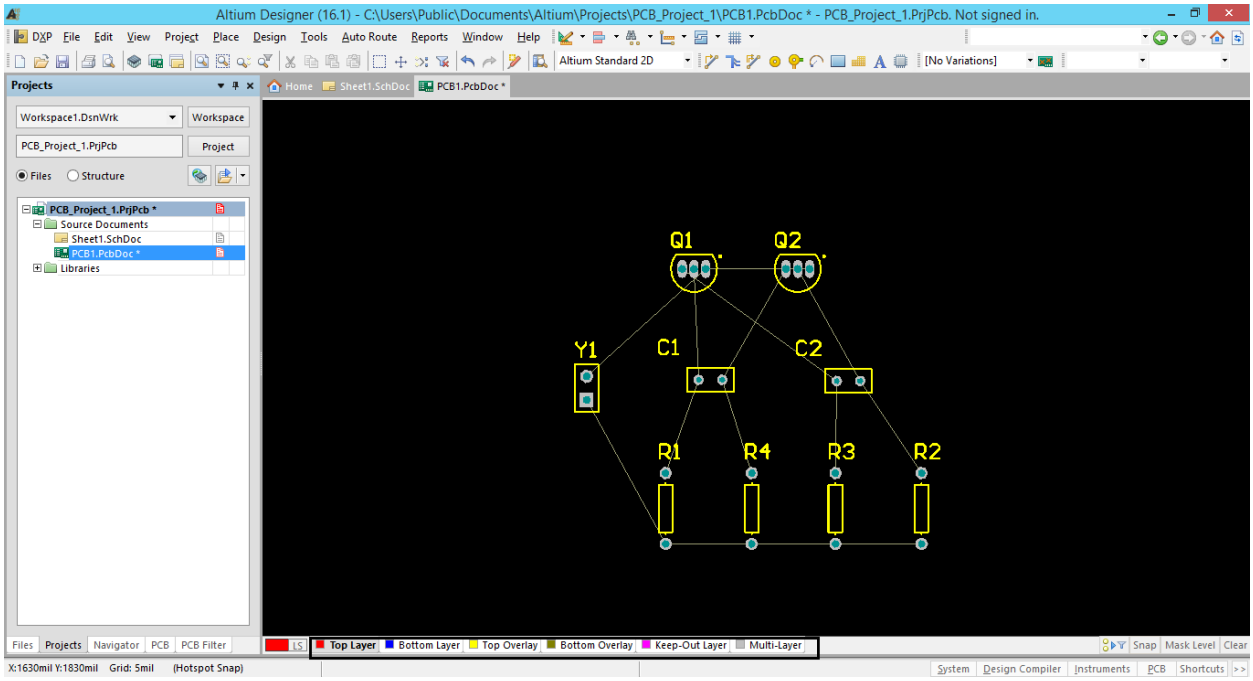
Design⟶Board Layers & Colors



کادر محاوره View Configurations نمایان می شود.



هر لایه دارای یک رنگ است که می توان به دلخواه با کلیک روی رنگ آن را تغییر داد و یک کادر انتخاب برای نمایان بودن یا نبودن است.

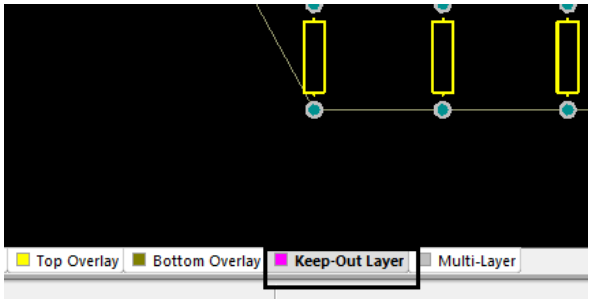


برای رسم خطوط برش محیط PCB، باید ابتدا لایه Keep-Out انتخاب شود و سپس خطوط رسم شود. رنگ مواردی که در هر لایه ترسیم می شود، مطابق با رنگ مشخص شده برای هر لایه است.

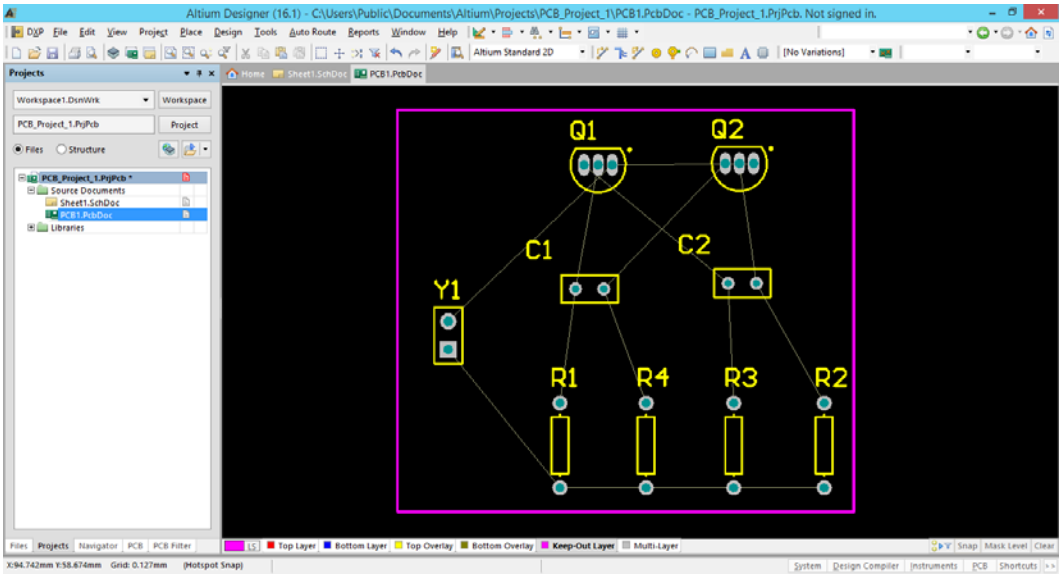
رسم محیط برش در لایه Keep-Out

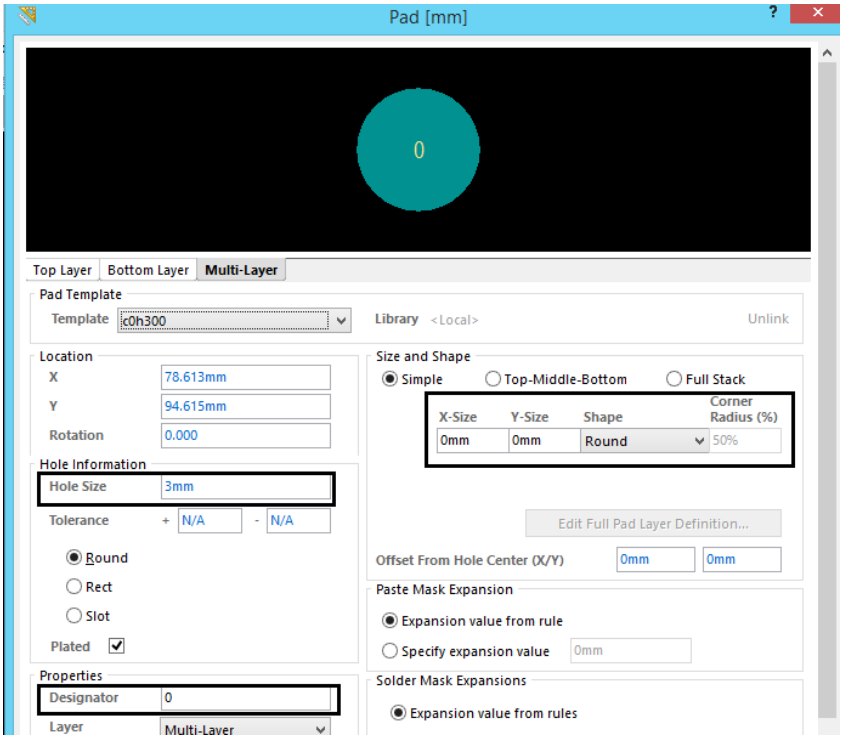
یکی از مهم ترین فاکتورها در زمینه طراحی نقشه PCB و ساخت آن، محیط برش PCB است. محیط PCB نه تنها در زمان مسیریابی مهم است بلکه در زمان ساخت نیز به سازنده اعلام می کند که محیط فیبر مدار چاپی مربوطه چگونه باید بریده شود. محیط PCB یک شکل است که می تواند مربع، مستطیل، دایره و ... باشد. این شکل در لایه ای از PCB به نام Keep-Out توسط کاربر رسم می شود.

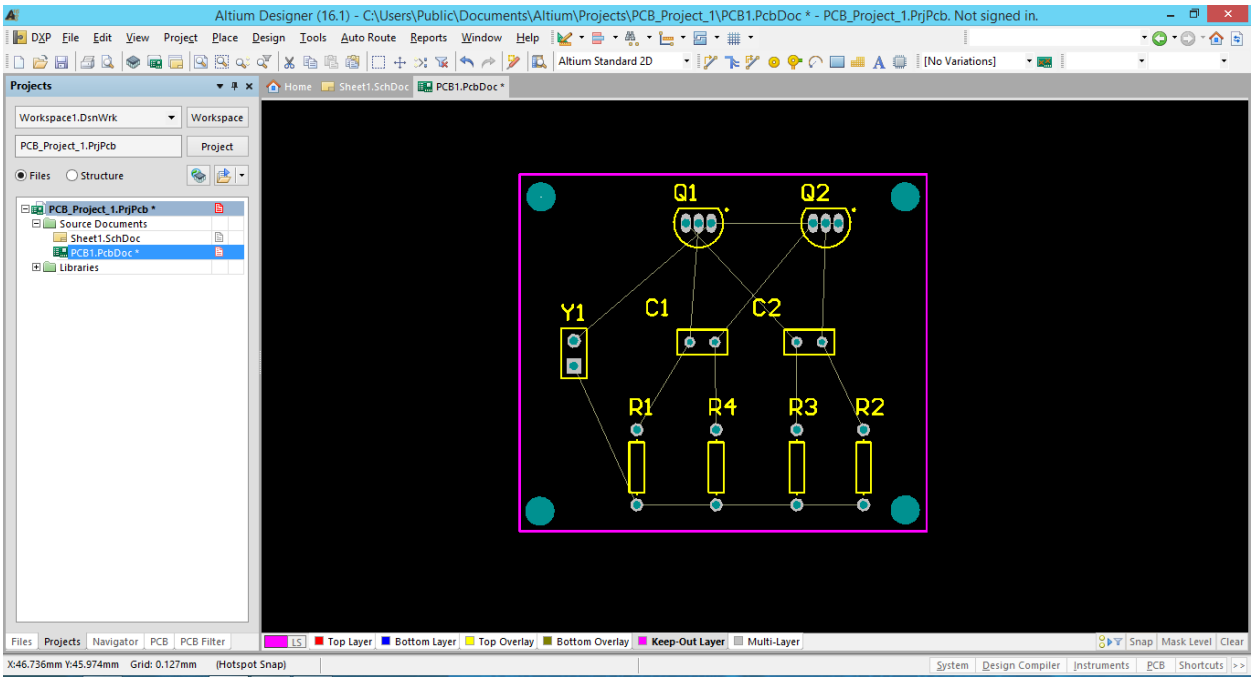
ابتدا روی زبانه Keep-Out کلیک می کنیم.



سپس با استفاده از ابزارهای طراحی که در منوی Place قرار دارند، می توان شکل مورد نظر را ایجاد کرد. برای نقشه فوق، کافی است با استفاده از ابزار Line، 4 خط به عنوان محیط برش در اطراف المان ها رسم کنیم. برای نصب یک PCB به سوراخ هایی در اطراف آن نیاز است. برای سوراخ های اطراف PCB به Padهایی نیاز داریم که دارای سطح مسی نباشدو تنها سوراخی به عنوان Pad وجود داشته باشد. به این منظور چهار Pad را که قطر بخش مسی آن، 0 و قطر سوراخ آن 3 mm یا 4 mm باشد را در 4 گوشه PCB مورد نظر قرار می دهیم.


Altium Designer (16.1) - C:\Users\Public\Documents\Altium\Projects\PCB_Project_1\PCB1.PcbDoc - PCB_Project_1.PrjPcb. Not signed in.
Q1
Q2
C1
C2
Y1
R1
R4
R3
R2


Pad [mm]
0
Top Layer
Bottom Layer
Multi-Layer
Pad Template
Template
c0h300
Library
<Local>
Unlink
Location
X
78.613mm
Y
94.615mm
Rotation
0.000
Hole Information
Hole Size
3mm
Tolerance
N/A
N/A
Round
Rect
Slot
Plated
Properties
Designator
0
Layer
Multi-Layer
Size and Shape
Simple
Top-Middle-Bottom
Full Stack
X-Size
Y-Size
Shape
Corner Radius (%)
0mm
0mm
Round
50%
Edit Full Pad Layer Definition...
Offset From Hole Center (X/Y)
0mm
0mm
Paste Mask Expansion
Expansion value from rule
Specify expansion value
0mm
Solder Mask Expansions
Expansion value from rules



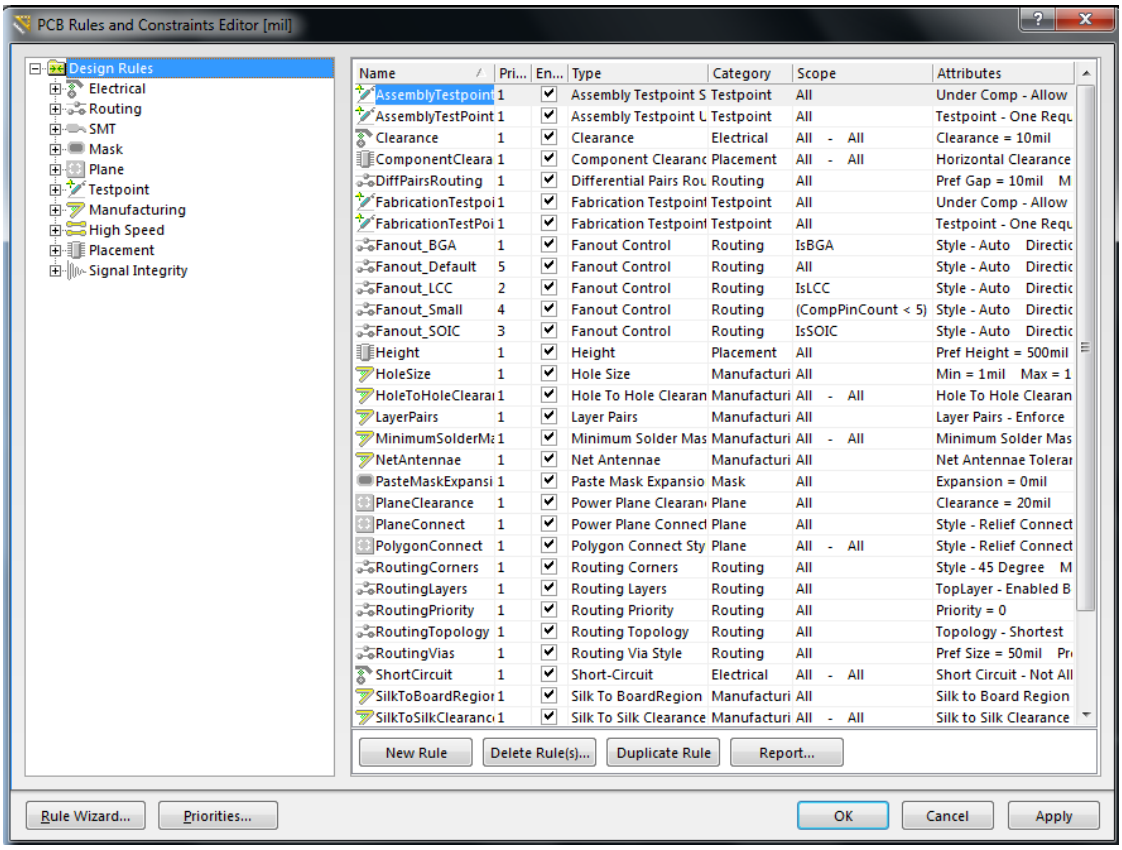
مراحل اولیه طراحی PCB مورد نظر به پایان رسید.

مسیریابی خودکار فیبرهای مدار چاپی یک رو

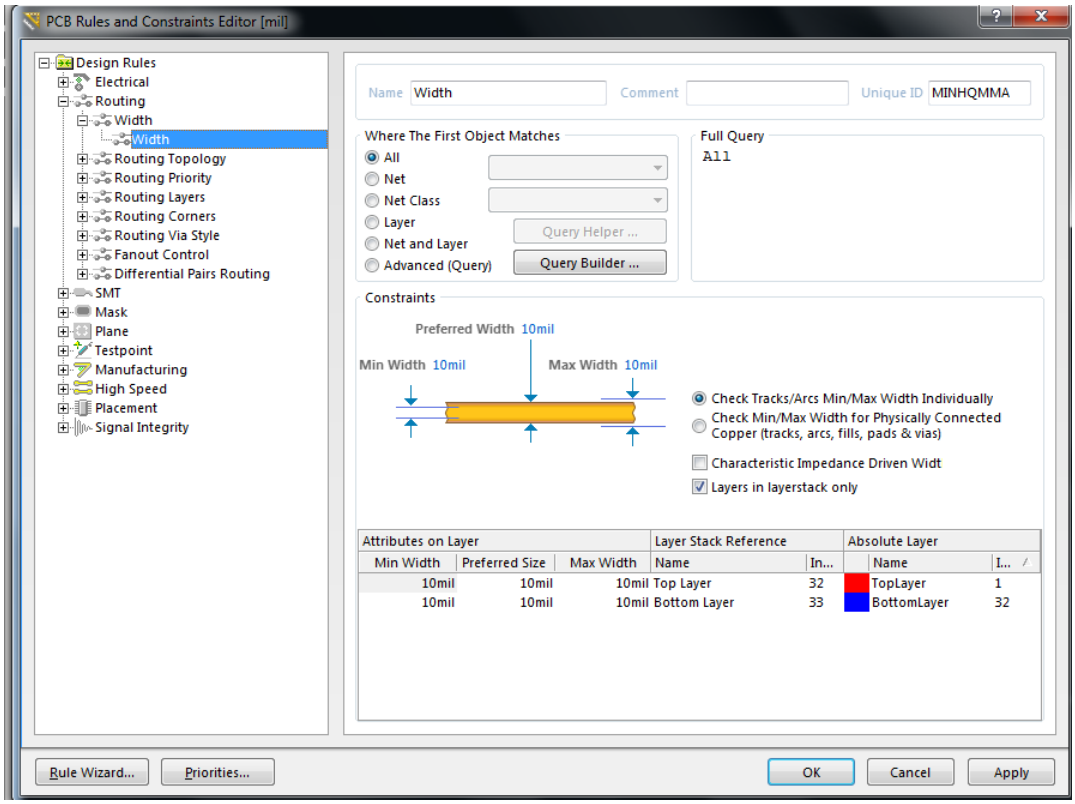
مسیریابی خودکار به این شکل است که نرم افزار عمل مسیریابی را با خصوصیاتی که کاربر در ابتدا مشخص می کند، انجام می دهد. این خصوصیات عبارتند از پهنای Trackها، قطر Viaها، یک رو یا دورو بودن فیبر مدار چاپی، حالت مسیریابی و ...به منظور مشخص کردن این خصوصیات از مسیر زیر در منوها، گزینه Rules را انتخاب می کنیم.

Design ⟶ Rules

کادر PCB Rules and Constraints Editor نمایان می شود.

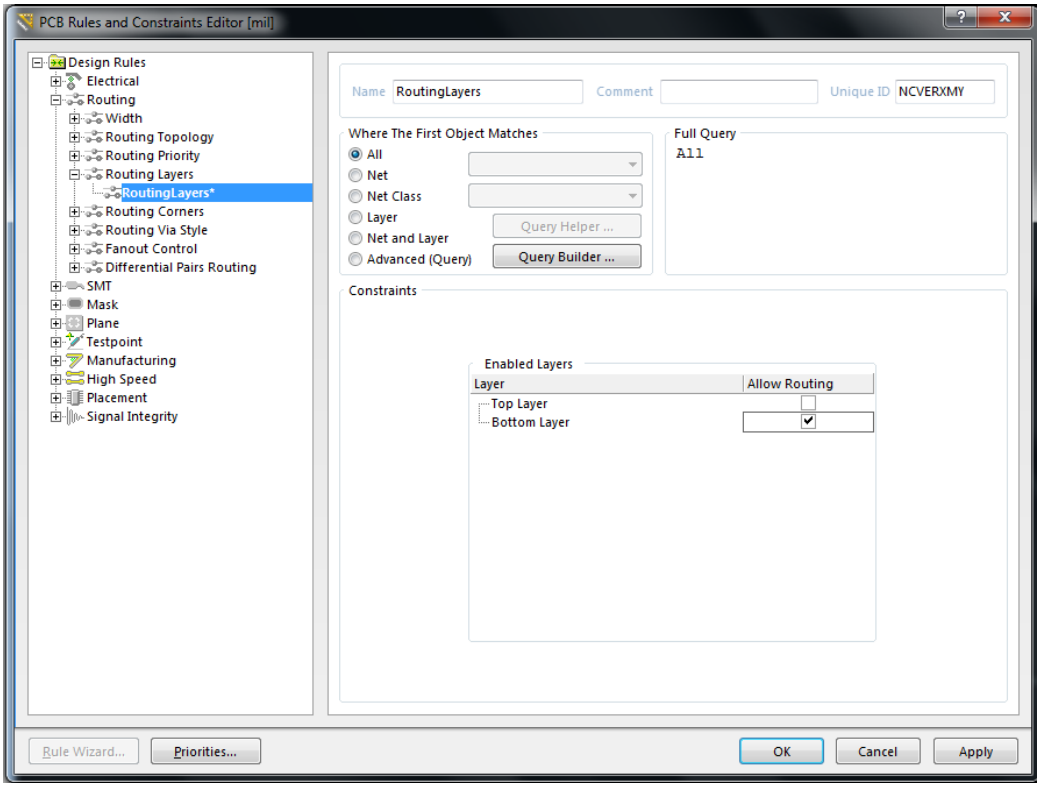


اولین بخش مهم در قسمت Rules بخش Width است. چون مسیریابی به صورت خودکار است، باید پهنای Trackها در کل مسیر مشخص شود. ابتدا روی علامت + در کنار گزینه Routing کلیک کرده و سپس روی علامت + در کنار گزینه Width کلیک می کنیم. درون گزینه Width یک گزینه دیگر به همین نام مشاهده می شود. با کلیک روی آن، بخش تنظیمات آن در سمت راست نمایان می شود.



هر سه مقدار پهنا در این قسمت باید به یک اندازه باشد. این مقدار، پهنای کل Trackهایی را که در مسیریابی خودکار ایجاد می شود مشخص می کند.

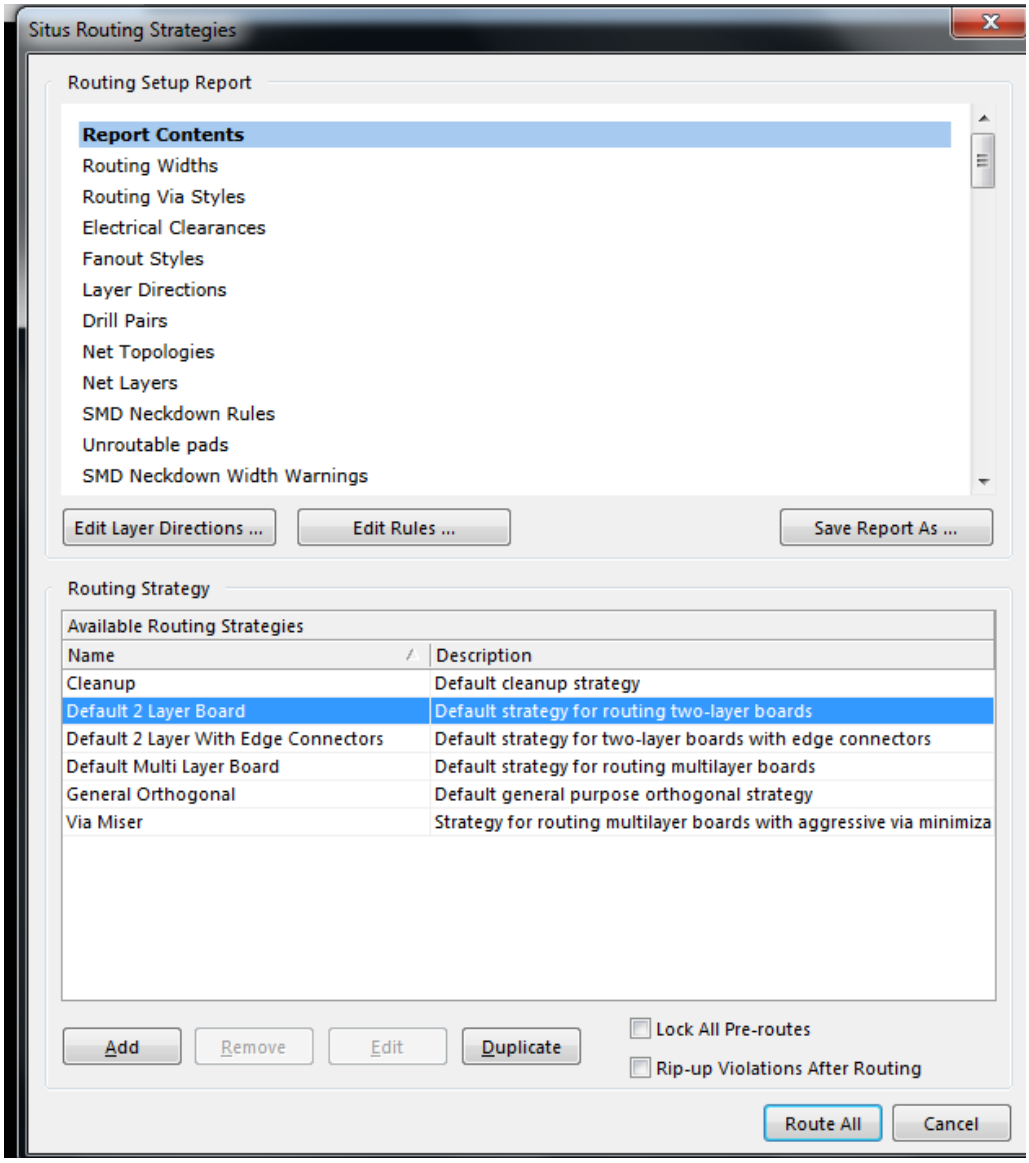
قسمت بعد Routing Layers است. همان طور که در شکل زیر نشان داده شده است دو لایه سیگنالی رو و زیر در این بخش قرار دارند. مسیریابی خودکار تنها در لایه هایی انجام می شود که در این بخش مشخص می شوند. هر لایه که انتخاب شود در مسیریابی حضور دارد. چون هدف ما مسیریابی فیبرهای مدار چاپی یک رو است، به همین خاطر تنها باید لایه زیر یا Bottom Layer فعال باشد.



پس از تنظیمات، روی دکمه OK کلیک کنید تا تنظیمات ذخیره شوند. برای شروع مسیریابی خودکار از مسیر زیر در منوها، گزینه All را انتخاب کنید.

Auto Route ⟶ All

کادر Situs Routing Strategies نمایان می شود. در قسمت Routing Setup Report نباید اخطاری به رنگ قرمز مشاهده شود. با کلیک روی دکمه Route All مسیریابی خودکار با تنظیماتی که در بخش Rules انجام شده آغاز می شود.

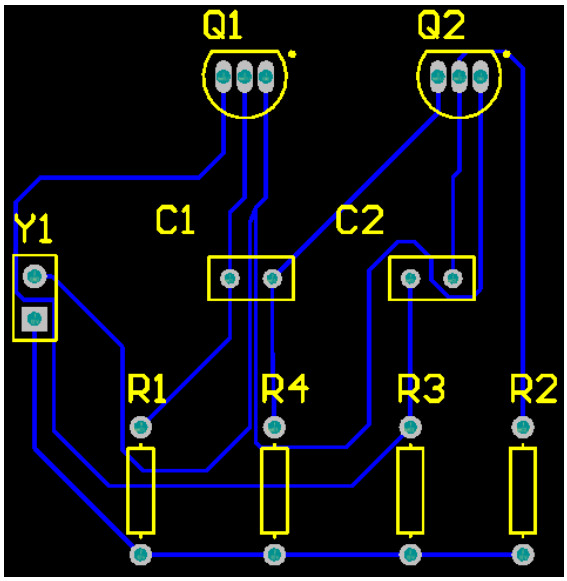


در پایان مسیریابی خودکار، کادر Messages اطلاعات نهایی را نشان می دهد. اگر نرم افزار بتواند به درستی تمام اتصالات را برقرار کند، پیام مشاهده شده در کادر Messages مطابق شکل زیر است.

Messages

Class	Document	So...	Message	Time	Date	N..
Sit...	multi.PcbD...	Situs	Completed Fan out to Plane in 0 Seconds	09:33:4...	03/05/...	4
Sit...	multi.PcbD...	Situs	Starting Memory	09:33:4...	03/05/...	5
Sit...	multi.PcbD...	Situs	Completed Memory in 0 Seconds	09:33:4...	03/05/...	6
Sit...	multi.PcbD...	Situs	Starting Layer Patterns	09:33:4...	03/05/...	7
Ro...	multi.PcbD...	Situs	Calculating Board Density	09:33:4...	03/05/...	8
Sit...	multi.PcbD...	Situs	Completed Layer Patterns in 0 Seconds	09:33:4...	03/05/...	9
Sit...	multi.PcbD...	Situs	Starting Main	09:33:4...	03/05/...	10
Ro...	multi.PcbD...	Situs	13 of 14 connections routed (92.86%) in 5 Seconds 2 c...	09:33:4...	03/05/...	11
Sit...	multi.PcbD...	Situs	Completed Main in 4 Seconds	09:33:4...	03/05/...	12
Sit...	multi.PcbD...	Situs	Starting Completion	09:33:4...	03/05/...	13
Ro...	multi.PcbD...	Situs	14 of 14 connections routed (100.00%) in 8 Seconds 1 c...	09:33:4...	03/05/...	14
Sit...	multi.PcbD...	Situs	Completed Completion in 3 Seconds	09:33:4...	03/05/...	15
Sit...	multi.PcbD...	Situs	Starting Straighten	09:33:4...	03/05/...	16
Ro...	multi.PcbD...	Situs	14 of 14 connections routed (100.00%) in 10 Seconds	09:33:4...	03/05/...	17
Sit...	multi.PcbD...	Situs	Completed Straighten in 0 Seconds	09:33:4...	03/05/...	18
Ro...	multi.PcbD...	Situs	14 of 14 connections routed (100.00%) in 10 Seconds	09:33:4...	03/05/...	19
Sit...	multi.PcbD...	Situs	Routing finished with 0 contentions(s). Failed to com...	09:33:4...	03/05/...	20

در انتهای مسیریابی مدار به صورت زیر می باشد.

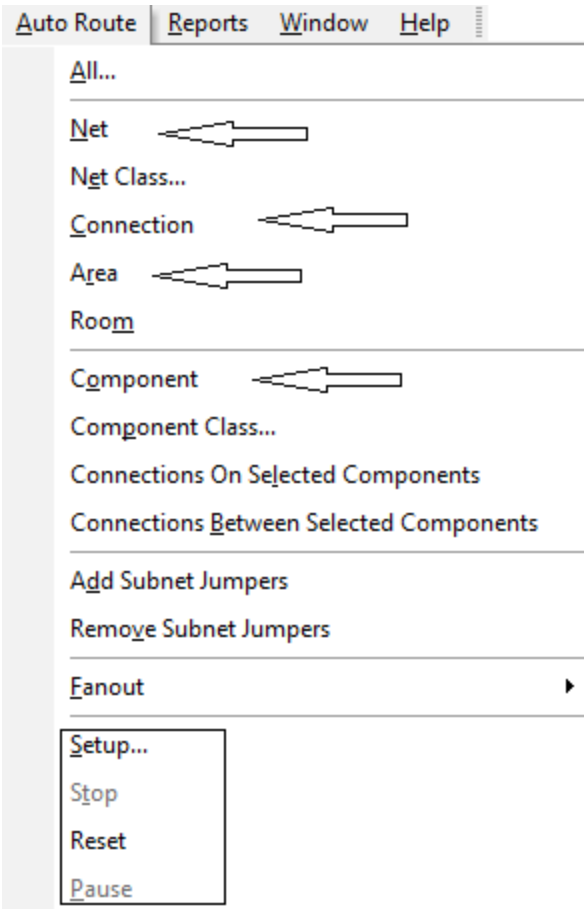


می توان مسیریابی خودکار را محدود به مسیریابی در محدوده ای مشخص، مسیریابی Netهای مربوط به المان های مشخص، مسیریابی Netهای مشخص و ... کرد. برای مسیریابی ناحیه ای مشخص از مسیر زیر در منوها، گزینه Area را انتخاب کرده و محدوده ناحیه موردنظر را انتخاب می کنیم.

Auto Route → Area

مسیریابی را می توان در هر مرحله ای متوقف کرد. به این منظور از مسیر زیر در منوها گزینه Stop را انتخاب می کنیم.

Auto Route → Stop

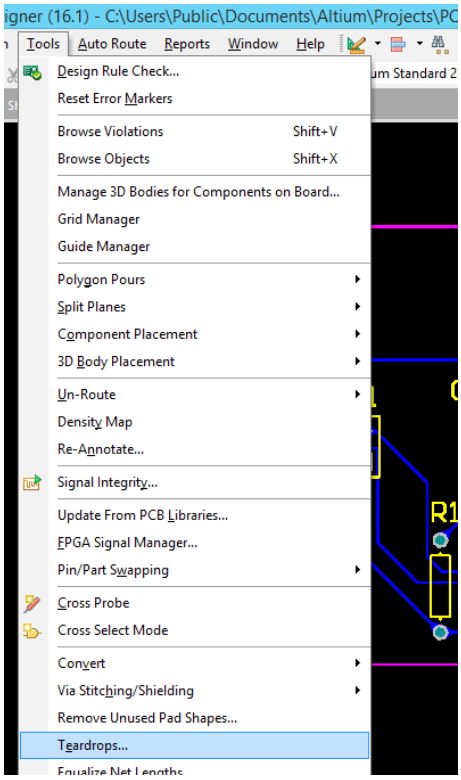


ابزارهای بیشتر در محیط PCB

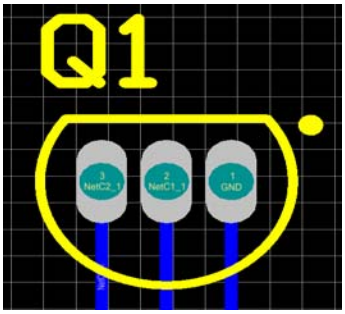
ابزار Teardrops

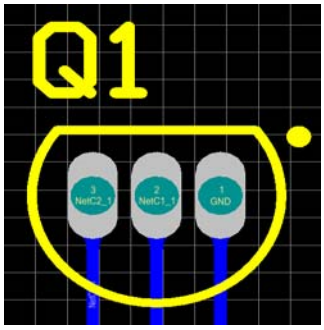
در نواحی که Trackها به Padها متصل می شوند، ممکن است در زمان مونتاژ المان ها با ایجاد حرارت ناشی از مونتاژ یا در زمان تعویض المان، Padها از جای خود جدا شده یا اتصال Track به Pad قطع شود. برای جلوگیری از این مساله می توان اتصال Track به Pad را تقویت کرد. این عمل توسط ابزار Teardrops در محیط PCB انجام می شود. از این ابزار زمانی که مسیریابی به طور کامل انجام شده است، استفاده می شود.

Tools ⟶ Teardrops



شکل های زیر قبل و بعد از حالت تقویت را نشان می دهد و به همین صورت حالت تقویت بطور خودکار در سراسر نقشه PCB در نقطه اتصال Trackها به Padها ظاهر می شود.





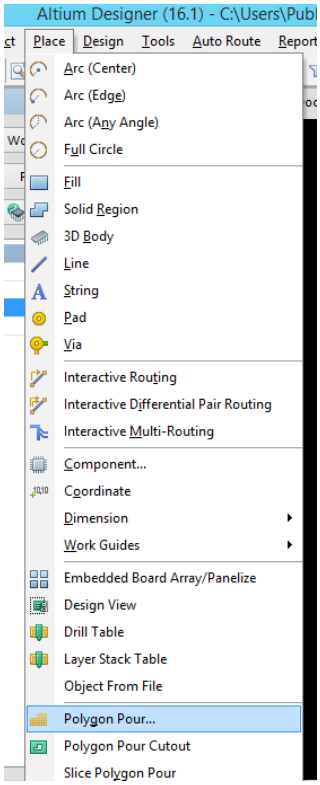
ابزار Polygon Pour

رسم Polygon

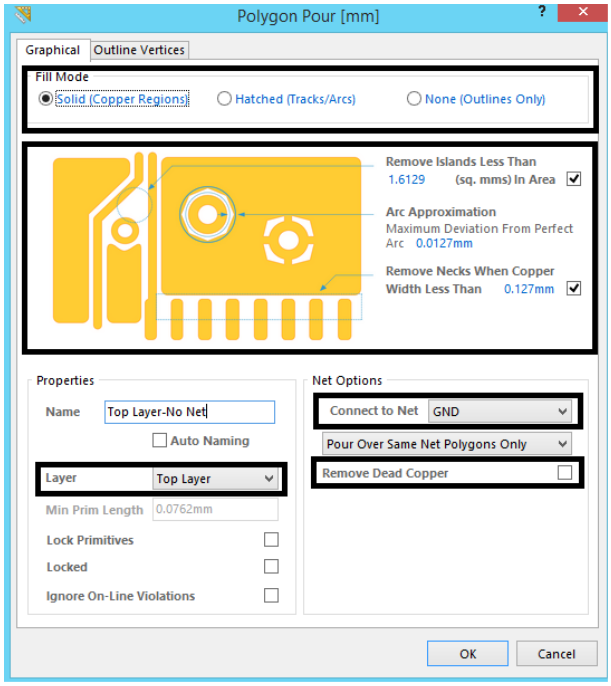
توسط این ابزار می توان نواحی خالی در سطح PCB را که Trackها از آن عبور نکرده اند یا در بین Trackها به منظور به حداقل رساندن نویز، به طور خودکار و هوشمند با سطوح مسی متصل شده به یک Net خاص (معمولا Net مربوط به GND) کامل کرد.

به منظور ایجاد Polygon در نقشه PCB از مسیر زیر در منوها گزینه Polygon Pour را انتخاب می کنیم.

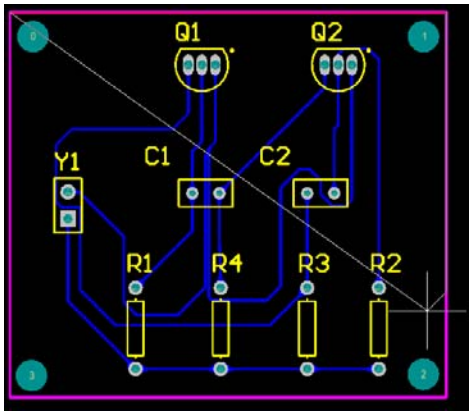
Place ⟶ Polygon Pour

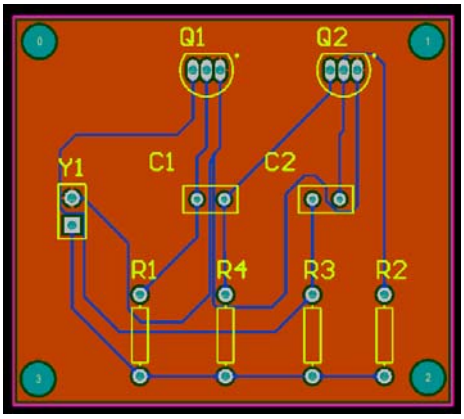


تنظیمات را به صورت زیر انجام می دهیم.



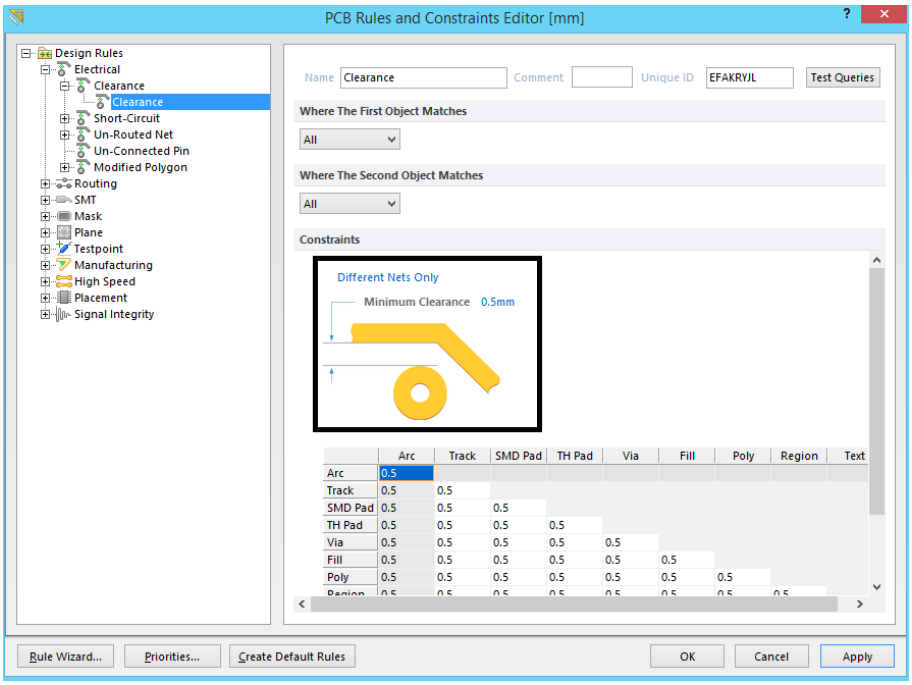
با کلیک روی 4 گوشه نقشه PCB و سپس کلیک راست کردن Polygon رسم می شود.



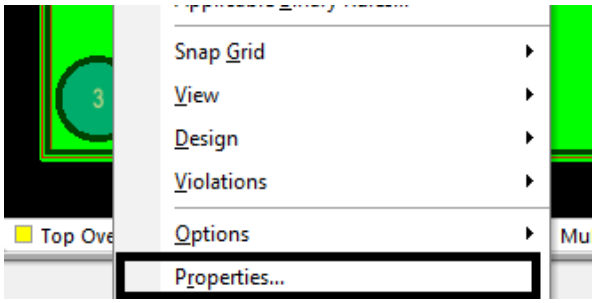


تنظیم فاصله Polygon از Trackها و Padها

به منظور تنظیم این فاصله وارد بخش Rules شده و در کادر محاوره PCB Rules and Constraints Editors بخش Electrical گزینه Clearance را انتخاب می کنیم.



پس از تنظیم فاصله مورد نظر، باید Polygon دوباره بازسازی شود.



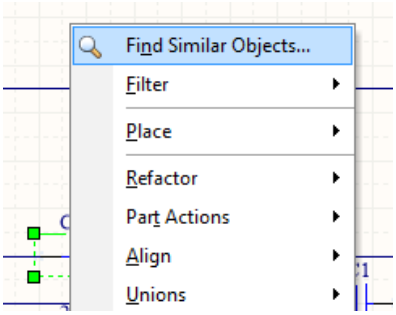
تغییرات گروهی در خصوصیات المان ها و اشیای هم نوع

استفاده از Find Similar Objects در محیط شماتیک

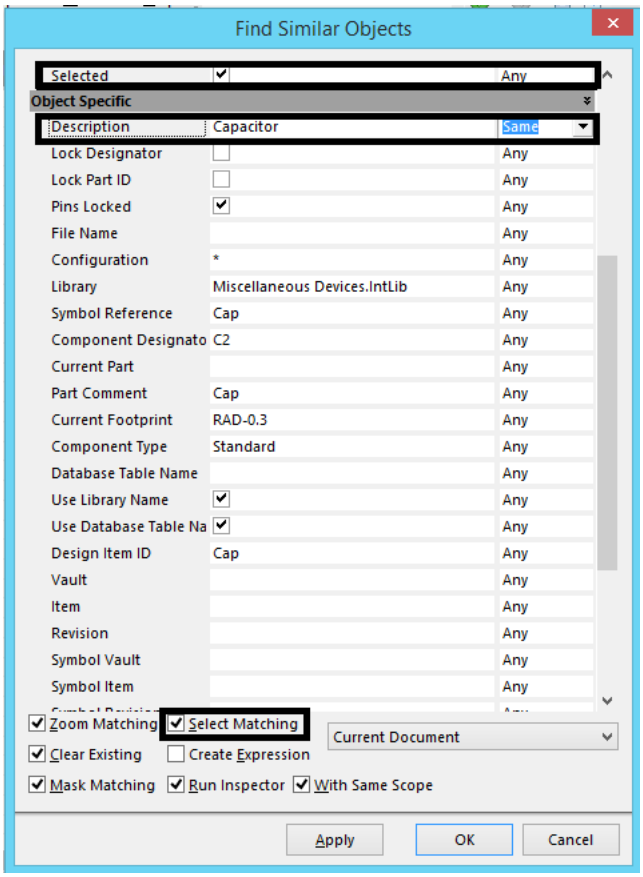
در نقشه های شماتیک و PCB بزرگ که تعداد المان ها و اشیا (مواردی به غیر از المان ها مثل Trackها، Padها و ...) زیاد است، تغییر یک خصوصیت در تمام المان ها و اشیای هم نوع، امری بسیار دشوار است.

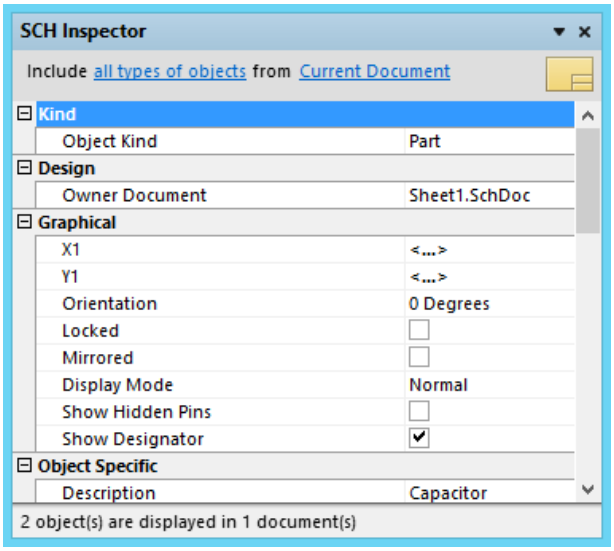
به طور مثال می خواهیم برخی خصوصیات خازن های موجود در نقشه شماتیک را تغییر دهیم برای این کار یکی از خازن ها را انتخاب می کنیم سپس روی آن کلیک راست کرده و گزینه Find Similar Objects را انتخاب می کنیم.

در کادر باز شده ابتدا گزینه Same را به Any تغییر می دهیم. برای اعمال تغییر گروهی، در این کادر گزینه Select Matching حتما باید انتخاب شود.



حال باید یک خصوصیت مشترک را بین المان هایی که قصد انتخاب آن ها را داریم، مشخص کنیم. گزینه Same در مقابل یکی از خصوصیات مشترک مثل Description انتخاب می کنیم. با کلیک روی دکمه OK همه‌ی خازنها به صورت گروهی انتخاب می شوند و کادر SCH Inspector نمایان می شود. تغییر در هر گزینه ای در این کادر منجر به تغییر آن گزینه در تمام المان های انتخاب شده می شود.

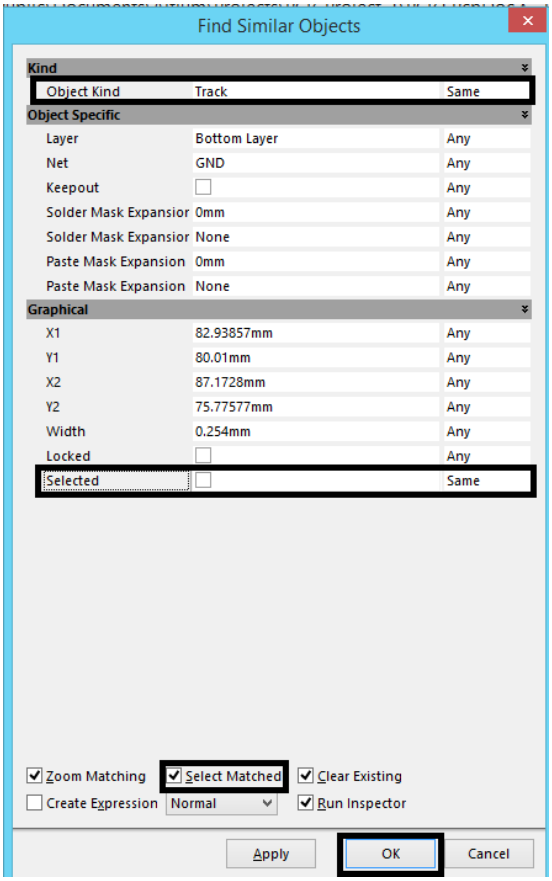




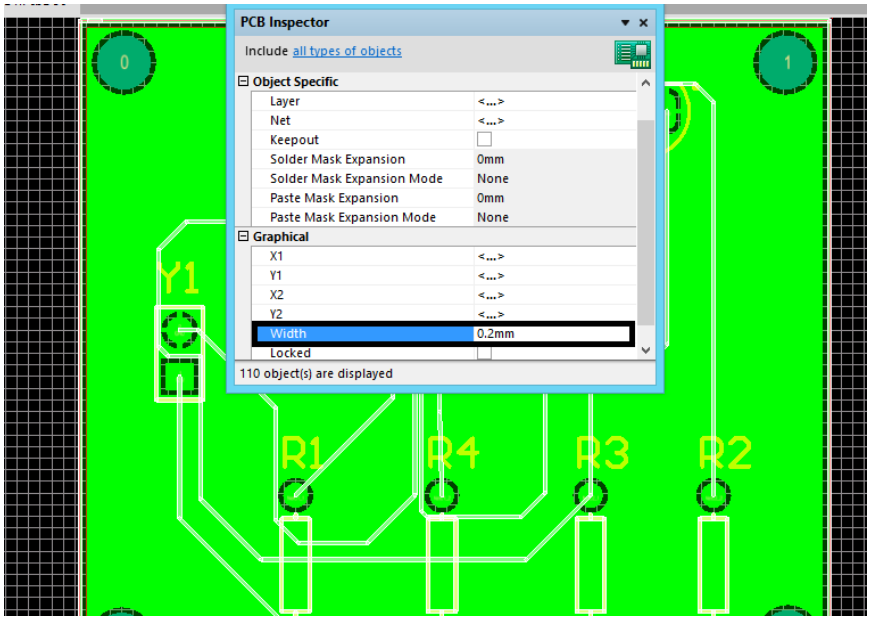
پس از اعمال تغییرات برای خارج شدن از حالت فیلتر در محیط شماتیک، کلید ترکیبی Shift + C را می فشاریم و محیط شماتیک را به حالت عادی باز می گردانیم.

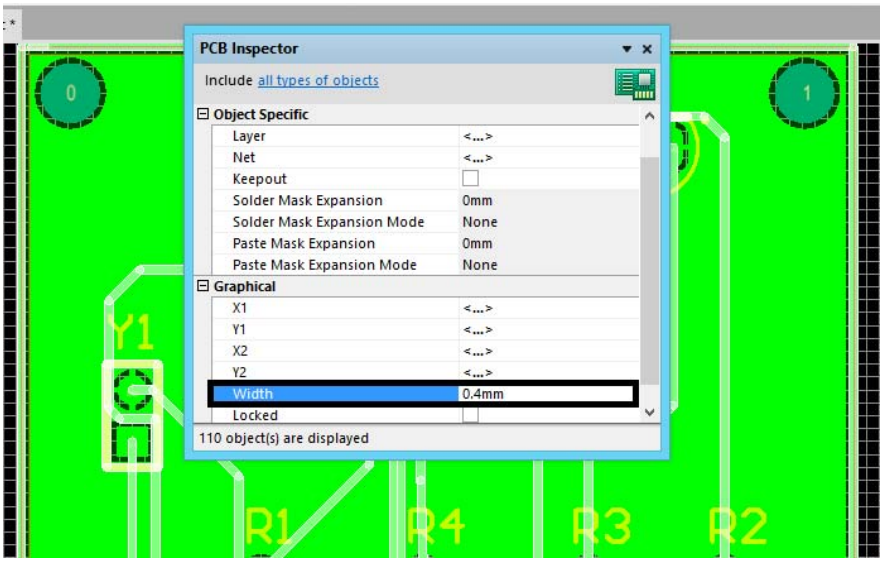
استفاده از Find Similar Objects در محیط PCB

به طور مثال قصد داریم پس از مسیریابی خودکار پهنای بعضی Trackها را به صورت گروهی تغییر دهیم. به این منظور ابتدا Trackهای مورد نظر را به صورت گروهی انتخاب کرده (کلیک به همراه کلید Shift از صفحه کلید) و روی آن ها کلیک راست کرده و گزینه Find Similar Objects را انتخاب می کنیم. در کادر زیر از لیست بازشوی مقابل Track و Selected گزینه Same را انتخاب می کنیم.



با کلیک روی دکمه OK کادر PCB Inspector نمایان می شود و در مقابل Trackهای انتخاب شده قرار می گیرد. هر تغییری در این خصوصیات منجر به تغییر در تمام Trackهای انتخاب شده می شود.



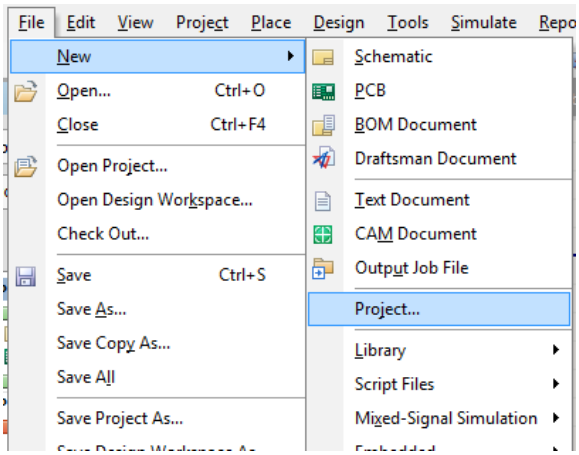


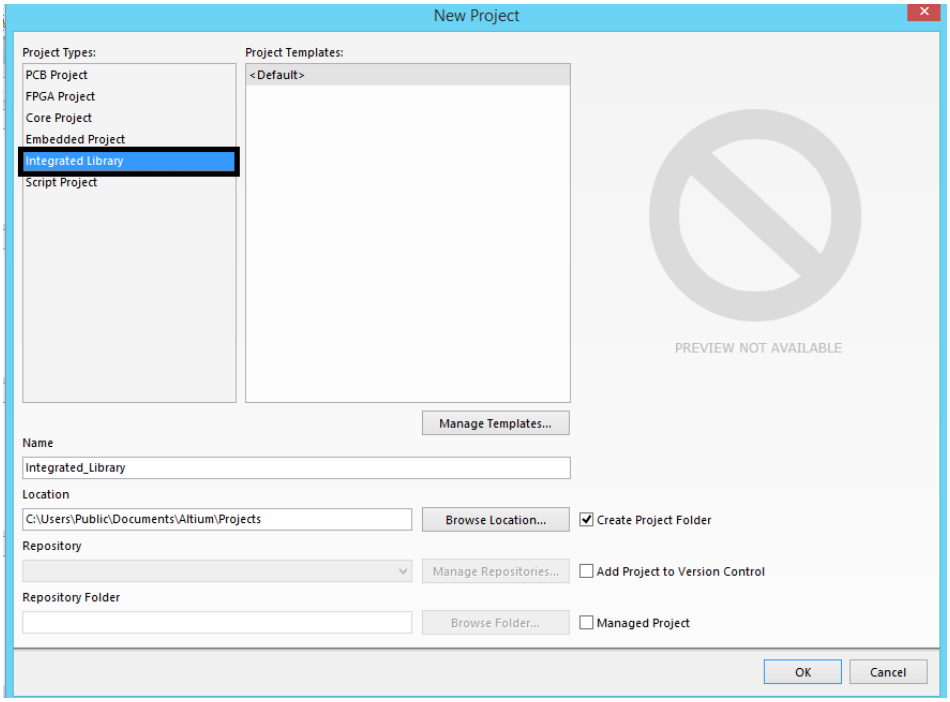
ساخت کتابخانه مجتمع

تاکنون یک کتابخانه‌ی شماتیک و یک کتابخانه PCB مرتبط به آن را ایجاد نموده ایم. اکنون می توانیم این دو را به صورت یکپارچه در یک کتابخانه‌ی مجتمع کامپایل نماییم. بدین منظور مراحل زیر را طی نمایید.

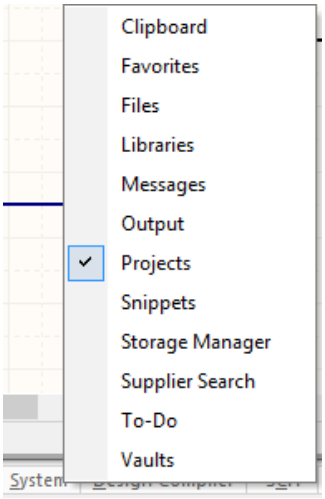
برای ساخت کتابخانه مجتمع مسیر File → New → Project → Integrated Library را دنبال کنید.

از مسیر File → Save As نام کتابخانه را Lm35 وارد کرده و مسیر ذخیره شدن آن را تعیین کنید.

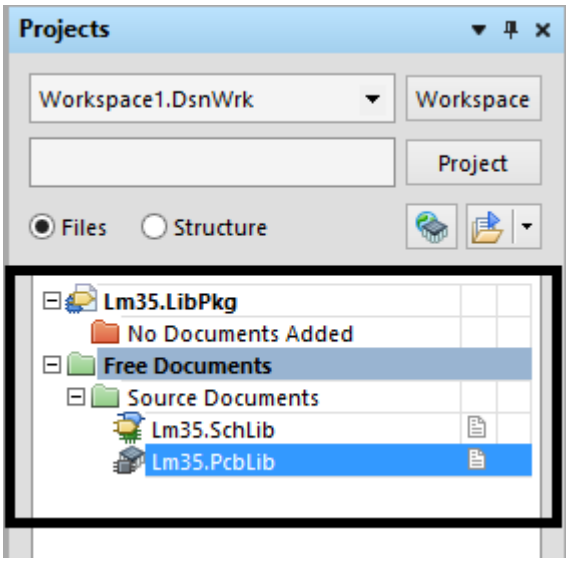




از پانل کنترل System گزینه Project را انتخاب نمایید.

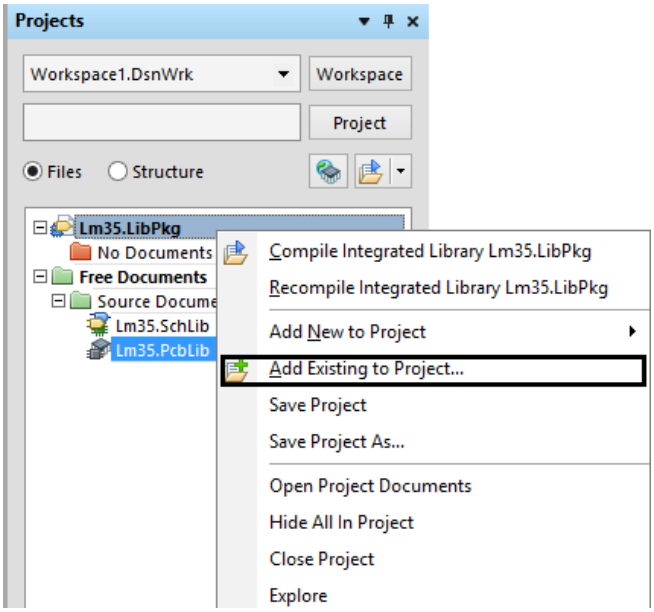


در پانل Projects بر روی Integrated Library کلیک راست کرده، گزینه Save Project As را انتخاب کنید و آن را در مسیر دو فایل شماتیک و PCB قبلی با نام Lm35 ذخیره نمایید.

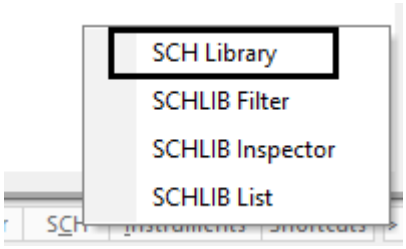


فایل های قبلی در دایرکتوری Free Document قرار داشته و متعلق به کتابخانه‌ی مجتمع Lm35.Libpkg نمی باشند.

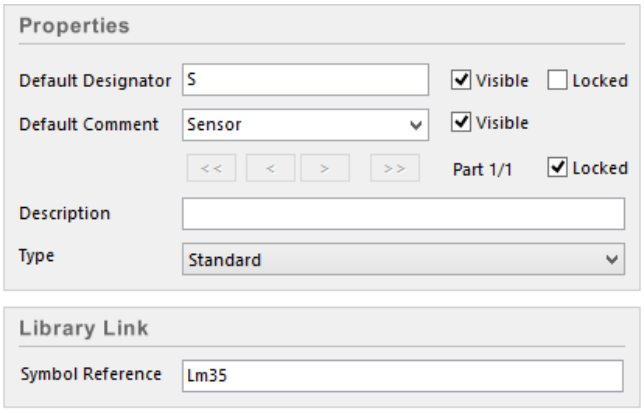
بر روی Lm35.Libpkg کلیک کرده و گزینه Add Existing to Project را انتخاب کنید. فایل Lm35.schlib را Save کنید.



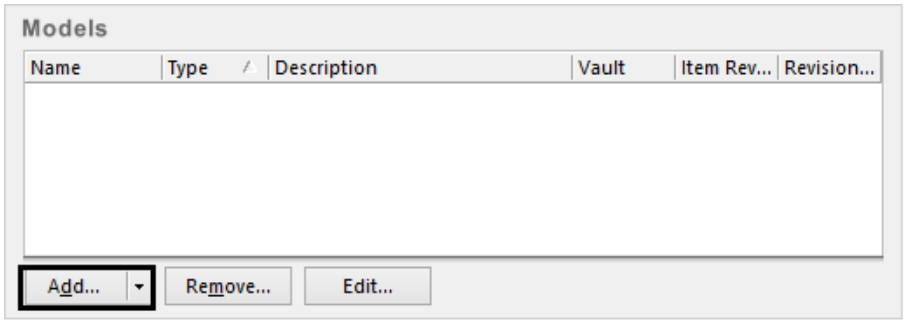
از پانل کنترل گزینه SCH Library را انتخاب کنید.



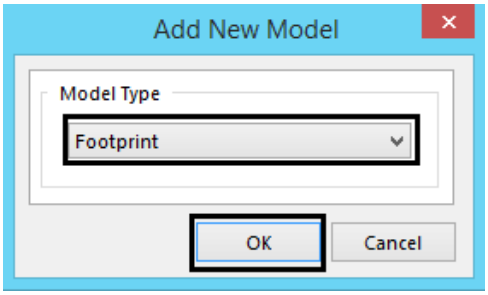
از پانل SCH Library دکمه Edit را کلیک کنید. تنظیمات Properties را مطابق زیر تنظیم نمایید.



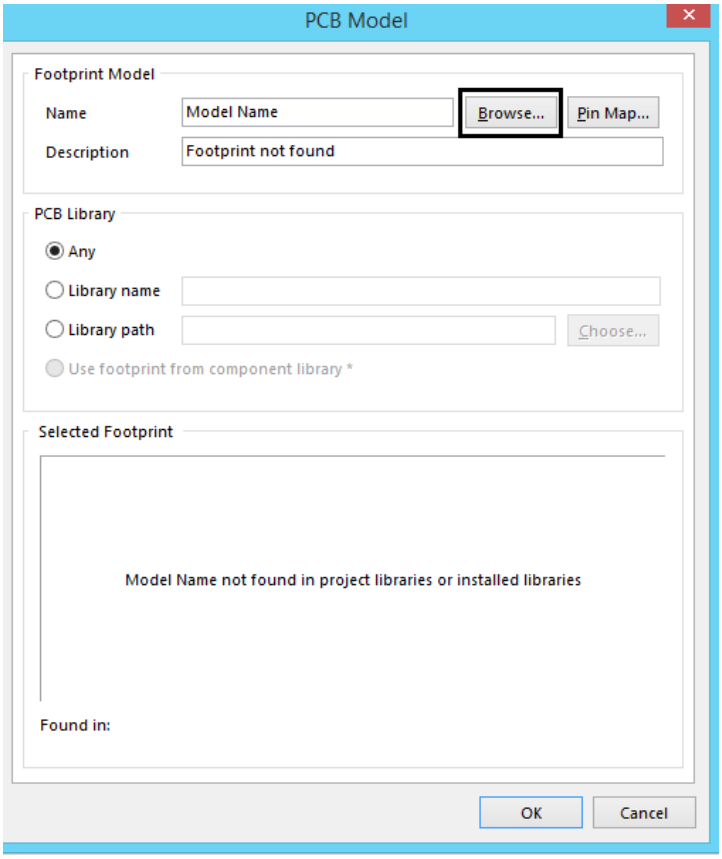
بر رو ی دکمه Add از کادر Models کلیک کنید.



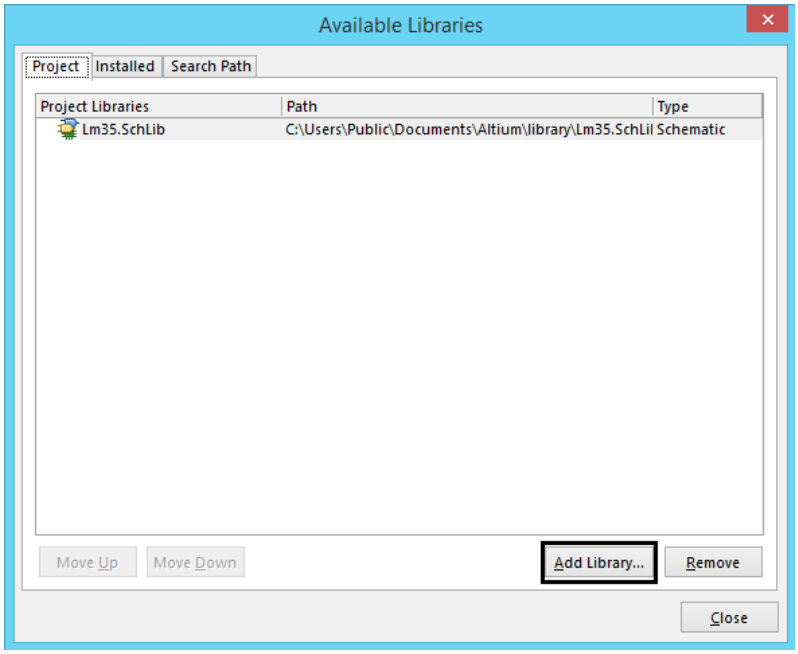
Footprint را انتخاب کرده و روی OK کلیک کنید.



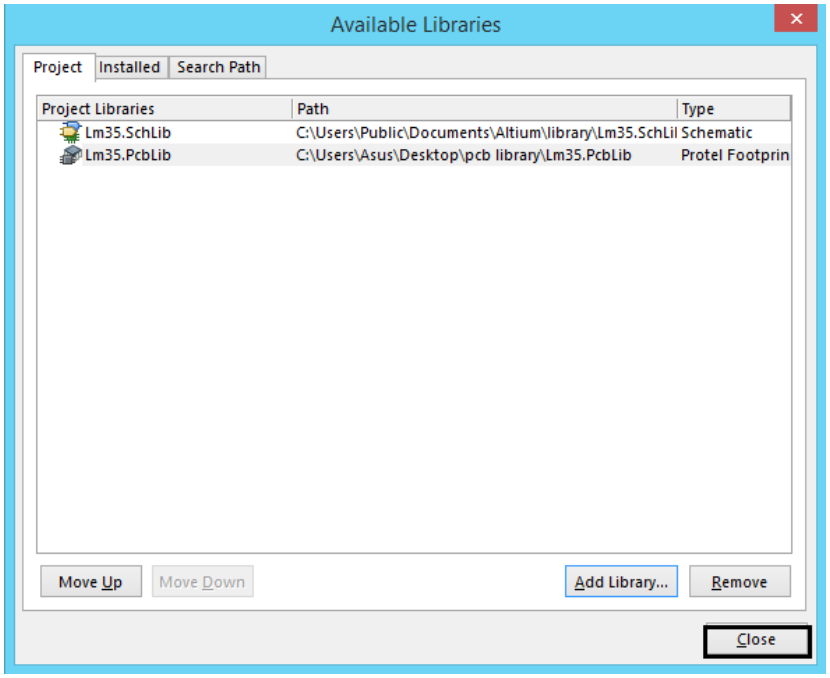
در کادر حاصل بر روی Browse کلیک کنید.



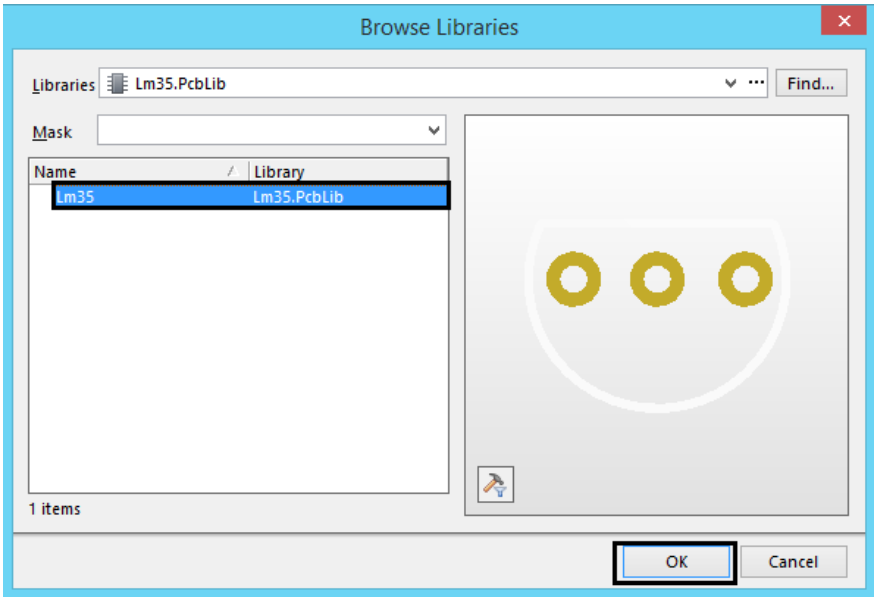
بر روی Available Library کلیک کنید و در کادر حاصل بر روی Add Library کلیک کنید.



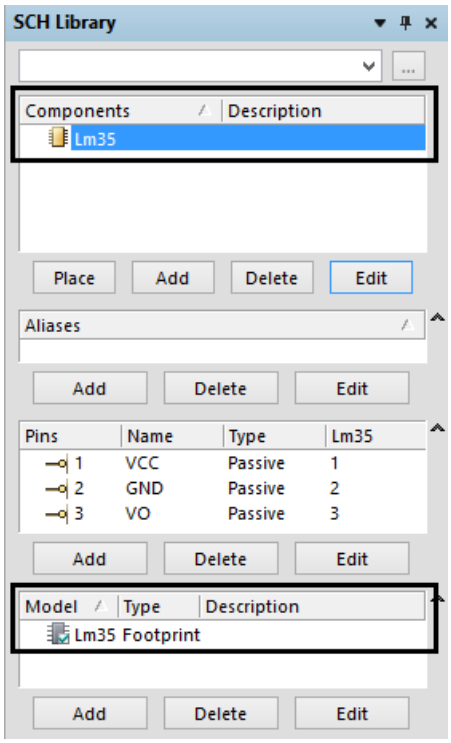
فایل Lm35.PCBLIB را از مسیر ذخیره شده انتخاب کنید و در کادر Available Library روی Close کلیک کنید.



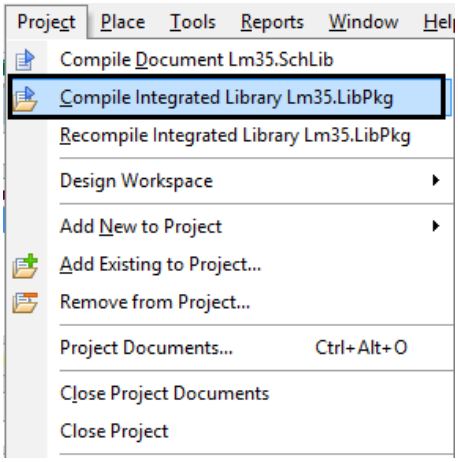
Lm35 را انتخاب کرده و روی همه‌ی فرم های قبلی OK را کلیک کنید.



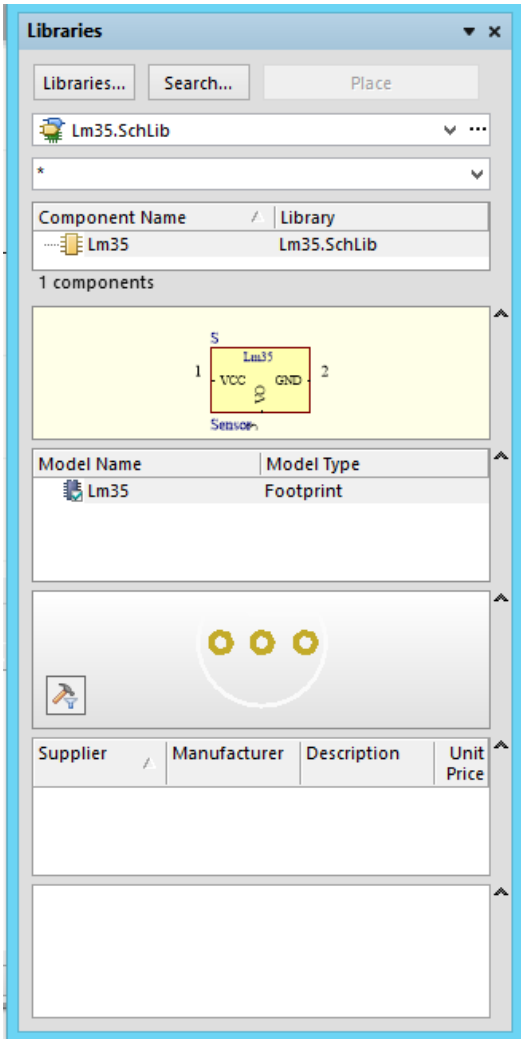
اکنون در بخش Model از پانل SCH Library نقشه ی پایه‌ی (Footprint) قطعه اضافه شده است.



از منوی Project گزینه Compile Integrated Library Lm35.LIBPKG را انتخاب نمایید.



در صورتی که خطایی وجود نداشته باشد کتابخانه مجتمع کامپایل شده و آماده‌ی استفاده می باشد.

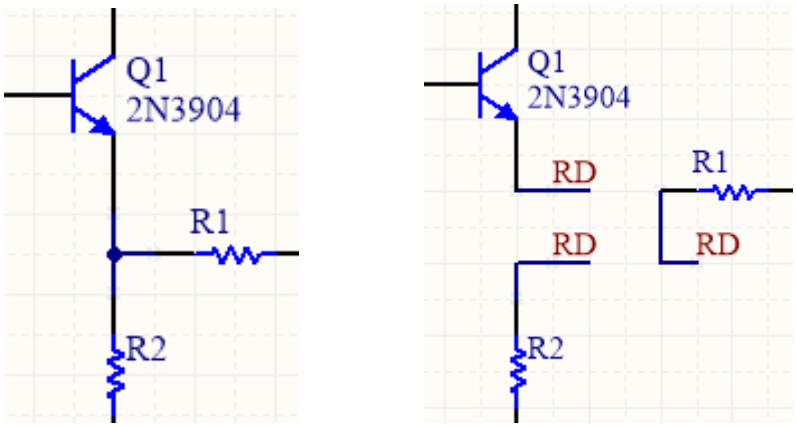


از منوی File روی Save All کلیک کنید تا کتابخانه‌ی ایجاد شده Save شود.

نکاتی در طراحی Schematic

Net Label:

یکی از روش های موثر برای کاهش ترافیک سیم ها در یک سند شماتیک استفاده از Net Label می باشد که می توانید آن را از منوی Place انتخاب کرده و نصب کنید. دو تصویر زیر از لحاظ اتصال دارای یک وضعیت می باشند. باید توجه داشت که جز در حالتی خاص، Net Label نمی تواند اتصال خارج از صفحه ایجاد کند.

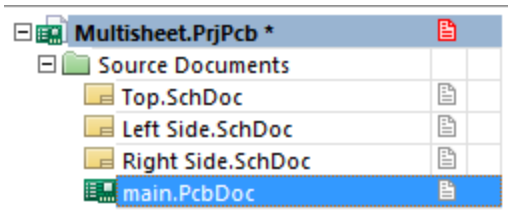


یکی از روش هایی که باعث انسجام طرح شماتیک در پروژه های بزرگ می شود استفاده از طراحی چند صفحه ای می باشد. در این روش تعدادی سند شماتیک هم سطح وجود داشته و در راس آنها یک سند شماتیک Master یا Top وجود دارد.

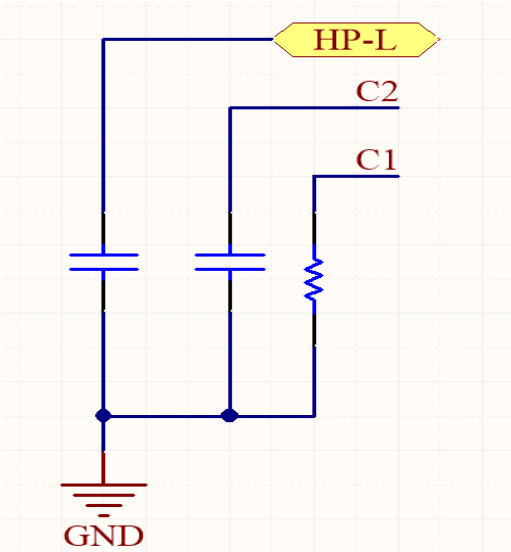
ساختار و روابط برگه های شماتیک به وسیله ی عنصری به نام Sheet Symbol تنظیم می شود. تمام سندهای شماتیک که یک طرح را تشکیل می دهند در سند Top به وسیله ی عنصر Sheet Symbol نمایش داده می شوند. ویژگی File Name از این عنصر، زیر صفحه ی مورد نظر را مشخص می کند.

برای ایجاد یک پروژه ی چند صفحه ای مراحل زیر را طی کنید.

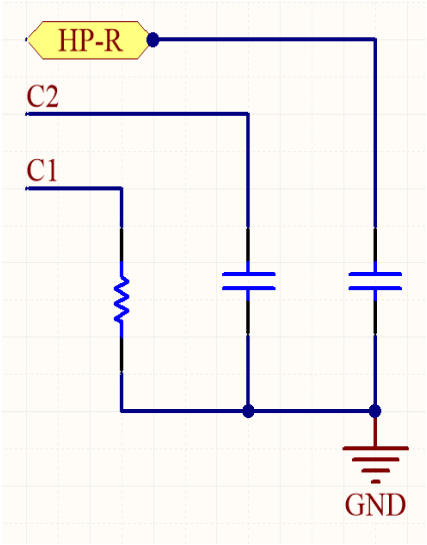
سه فایل شماتیک و یک سند PCB به صورت زیر ایجاد کنید.



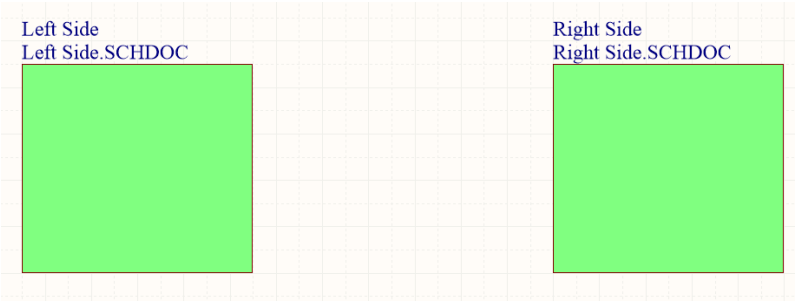
در فایل شماتیک Left Side.SCHDOC مدار زیر را ترسیم کنید.



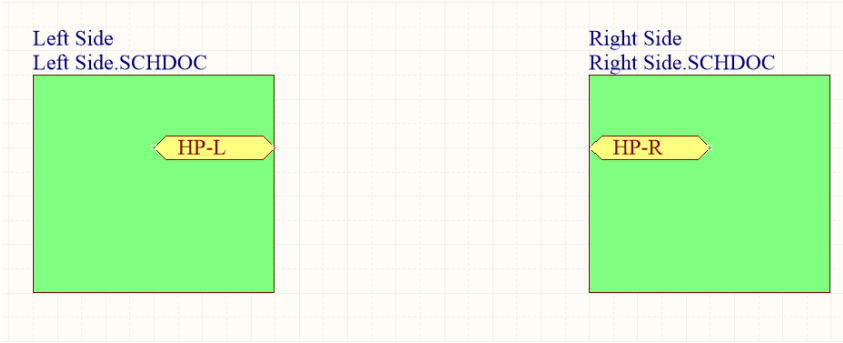
در فایل شماتیک Right Side.SCHDOC مدار زیر را ترسیم کنید.



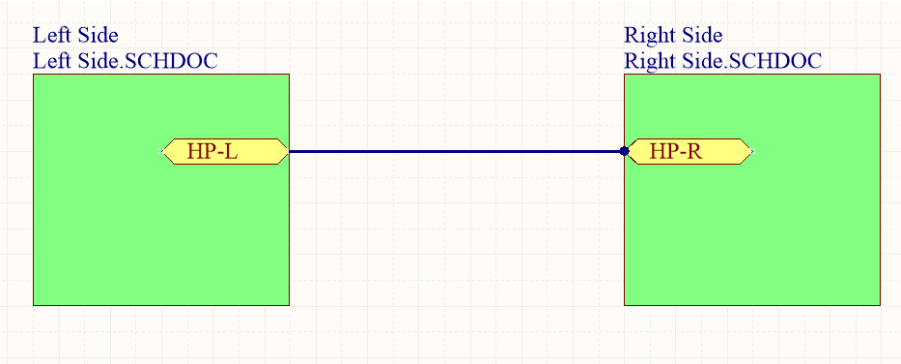
در فایل Top.SCHDOC از مسیر Place → Sheet Symbol دو عنصر Sheet Symbol به صورت زیر ترسیم کرده و ویژگی Filename آن ها را روی Left Side.SCHDOC و Right Side.SCHDOC تنظیم نمایید.



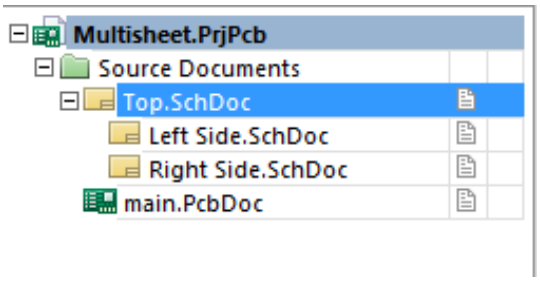
از منوی Place گزینه Port را انتخاب کرده، خاصیت I/O Type آن را روی Bidirectional تنظیم نمایید و مطابق زیر جایگذاری کنید.



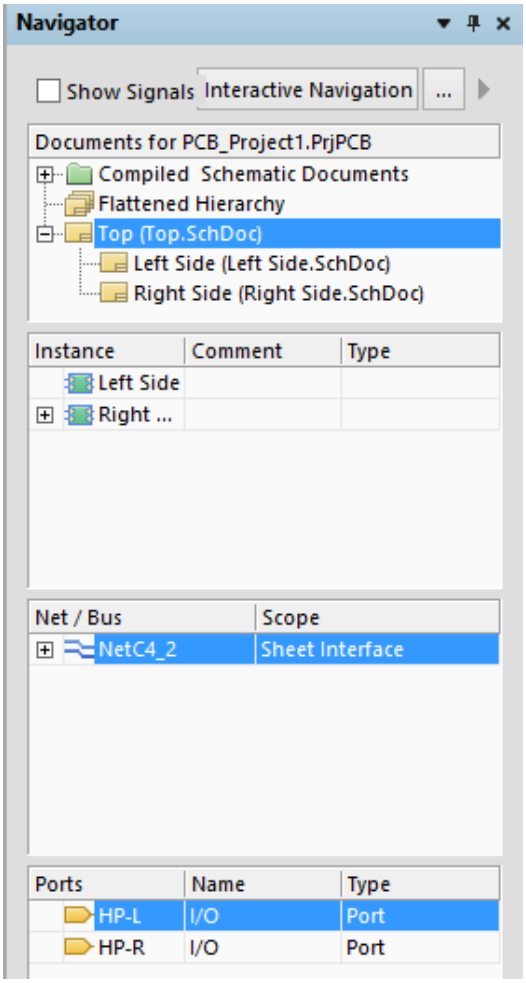
دو پورت را با عنصر Wire متصل نمایید.



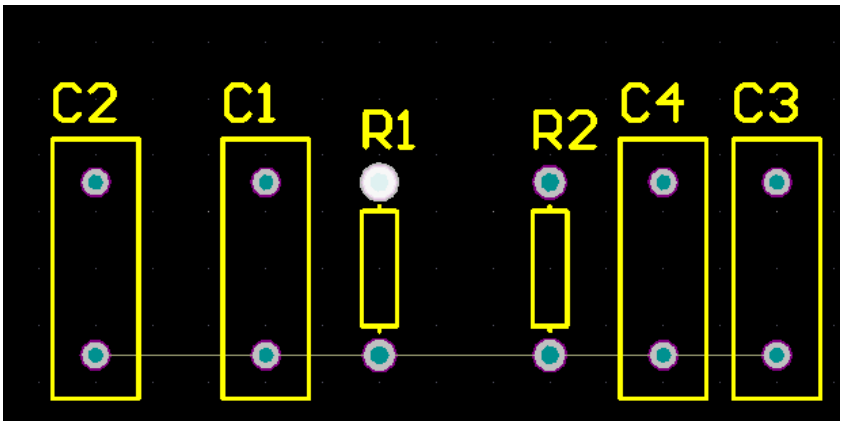
پروژه را کامپایل کنید. ملاحظه می شود که نرم افزار Protel اتصالات را تشخیص داده و طرح را به صورت شاخه ای طبق شکل زیر ایجاد می کند.



می توانید از پانل کنترل، Navigator را فعال کرده و جزئیات پروژه را بررسی نمایید. پانل Navigator به صورت زیر نمایش داده می شود.



سند PCB را با شماتیک Update نموده و آن را Route نمایید.



همانطور که ملاحظه می شود Net Labelها برخلاف Port موجود به خارج از صفحه اتصال منتقل نشده اند.

BUS

دسته سیم مشترک که به صورت Logical و Graphical می باشد.

Graphical BUS

همانطور که از نام آن مشخص است بیشتر نقش گرافیکی داشته و وجود آن تاثیری در اتصالات سند شماتیک ایجاد نمی کند. در واقع اتصالات به وسیله ی Net Label مشخص شده و BUS برای افزایش خوانایی شماتیک می باشد.

Logical BUS

این نوع باس بر خلاف نوع قبل امکان برقراری اتصال بین صفحات را فراهم می کند. Logical BUS با ساختاری به صورت D [0…7] ساخته می شود.

منابع

۱. طراحی فیبرهای مدار چاپی با نرم افزار Altium Designer، مهندس حمید نجفی.

۲. آموزش منحصر به فرد طراحی مدارات چاپی با Protel DXP، حسین سعیدی، فاطمه شکری.