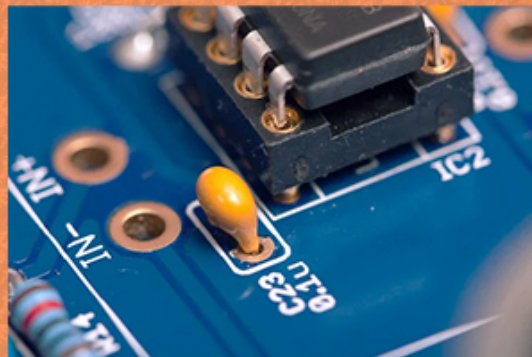
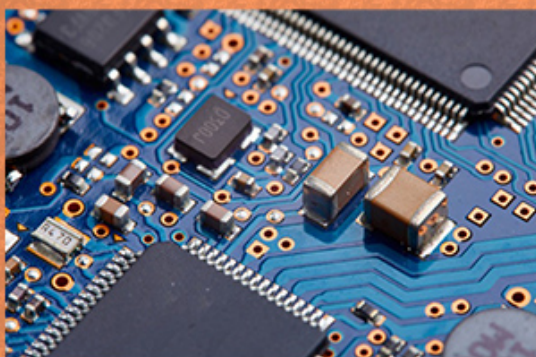




خازن های دیکوپلینگ و نحوه انتخاب و قرار گرفتن آن در مدار

خازن های دیکوپلینگ و نحوه انتخاب و قرار گرفتن آن در مدار




www.microele.com
<https://blog.microele.com>

تاریخ انتشار ۲۷ خرداد، ۱۴۰۱ توسط سید حسین سلطانی

سلام خدمت همه شما میکروالکامی ها. خازن یکی از قطعات پر استفاده در مدارات الکترونیکی می باشد. یکی از کاربردهای آن استفاده بعنوان خازن دیکوپلینگ (decoupling) و بصورت بای پاس می باشد. ظرفیت خازن در حالت دیکوپلینگ متناسب با نویز فرکانس بالا و پایین انتخاب می گردد. در این مطلب به معرفی و نحوه استفاده از خازن دیکوپل در مدار پرداخته خواهد شد. پس با من تا انتهای مطلب همراه باشید. همچنین شما میتونید سایر مطالب من رو از [این لینک](#) یا [این لینک](#) مطالعه و بررسی کنید.



مقدمه ای بر استفاده از خازن های دیکوپلینگ (Decoupling Capacitor)

نویز در سیستم یکی از معضلات اصلی در مدارات آنالوگ و دیجیتال تبدیل شده است. نیاز به داشتن رابط های پرسرعت و همچنین مصرف کمتر توان باعث شده است که دستگاه به نوسانات تغذیه خیلی حساس تر شود. در یک مدار الکترونیکی یک خازن دیکوپل یا بای پاس جریان لحظه ای بالا را برای IC فراهم کرده و رپل های ولتاژ را کاهش می دهد. چنین خازن هایی باید حتما حتما در نزدیک ترین محل ممکن به پایه مربوطه IC قرار گرفته و مونتاژ شوند.

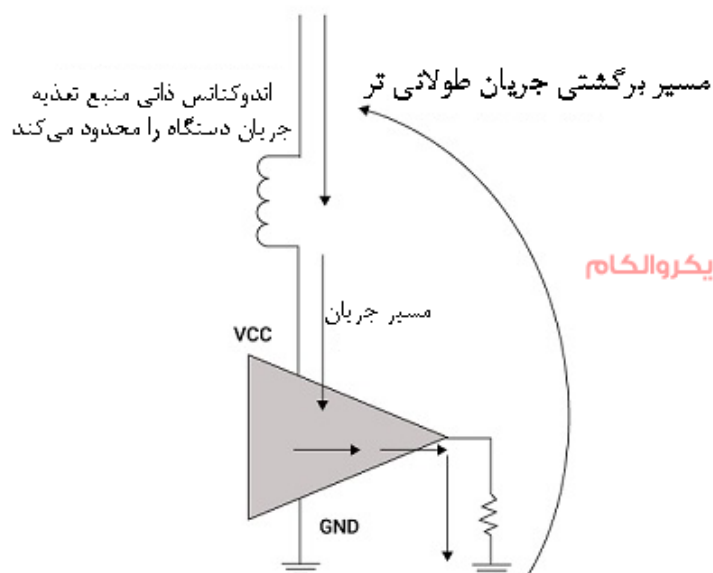
مدارات آنالوگ مانند تقویت کننده های صوتی به هنگام کار یک صدای وز وز یا شبیه آن بعنوان مثلا نویز ایجاد کرده و این در حالی است که در مدارات دیجیتال مانند میکروکنترلر، رفتار غیر قابل پیش بینی از آنها سر خواهد زد. این موارد هنگامی که تغذیه پایدار نباشد بوجود خواهد آمد. اگر تغییراتی مانند اشکالات احتمالی یا اسپایک های ولتاژ و خطای قطعات در محدوده مجاز و قابل تحملی باشد، دستگاه بخوبی کار خواهد کرد. یک PCB و برد الکترونیکی خوب باید یک تغذیه صاف و بدون مشکل را علیرغم وجود نویز با استفاده از خازن های دیکوپل (decoupling) و بای پاس (By-pass) به ارمغان آورد.

اهمیت خازن های دیکوپلینگ (Decoupling Capacitor) در مدارات الکترونیکی

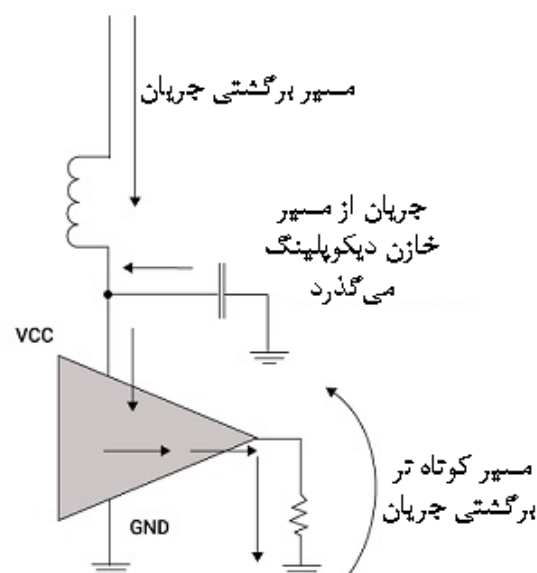
خازن های decoupling یک مسیر کم امپدانس برای منبع تغذیه تا زمین ایجاد می کنند. بنابراین، انتخاب یک خازن با ظرفیت بالا و ظرفیت سلفی پایین بسیار مهم خواهد بود. همانطور که در تصویر زیر مشاهده می شود از آنجا در مدار سمت چپ از خازن decoupling استفاده نشده است، مسیر برگشتی جریان طولانی تر خواهد بود. حال به مدار سمت راست دقت کنید. از آنجا که بر سر پین تغذیه IC خازن دیکوپل (دیکوپلینگ) وجود دارد مسیر برگشتی جریان بسیار کوتاه تر خواهد بود.



بدون خازن دیکوپلینگ

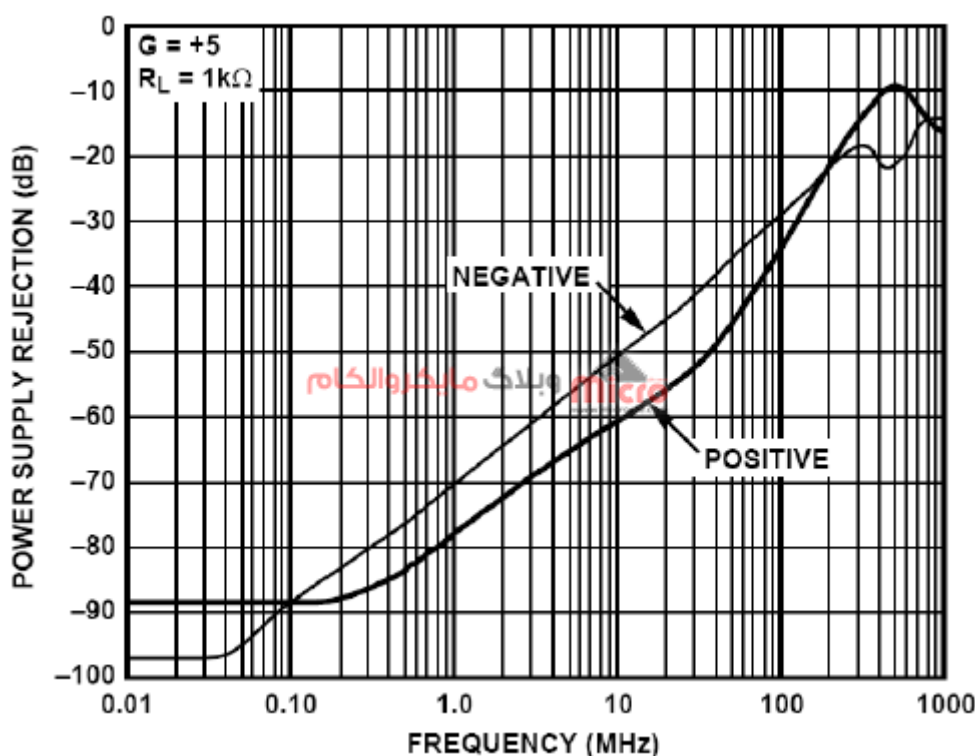


با خازن دیکوپلینگ



بررسی مسیر با خازن دیکوپلینگ و بدون آن

نمودار شکل زیر مربوط به هر دو منبع تغذیه مثبت و منفی است. این نمودار مقدار PSR (Power Supply Rejection) را در یک آمپلی فایر صوتی با کارایی بالا در فرکانس 20db/decade را نشان می دهد که کاهش پیدا می کند. حدود 90db در DC مقدار PSR سرعت در فرکانس های بالاتر سریعاً کاهش یافته که نشان می دهد انرژی ناخواسته به خروجی کوپل یا متصل می گردد. همین امر دلیلی است بر حتمی بودن و واجب بودن حذف این انرژی ناخواسته در فرکانس بالا تا به IC ورود پیدا نکند. برای اینکار می توان از ترکیب خازن های الکتrolیتی (برای فرکانس های پایین) و خازن سرامیکی (فرکانس های بالا) استفاده نمود.



نمودار مربوط PSRR و دلیل استفاده از خازن دیکوپلینگ

حساسیت یک IC

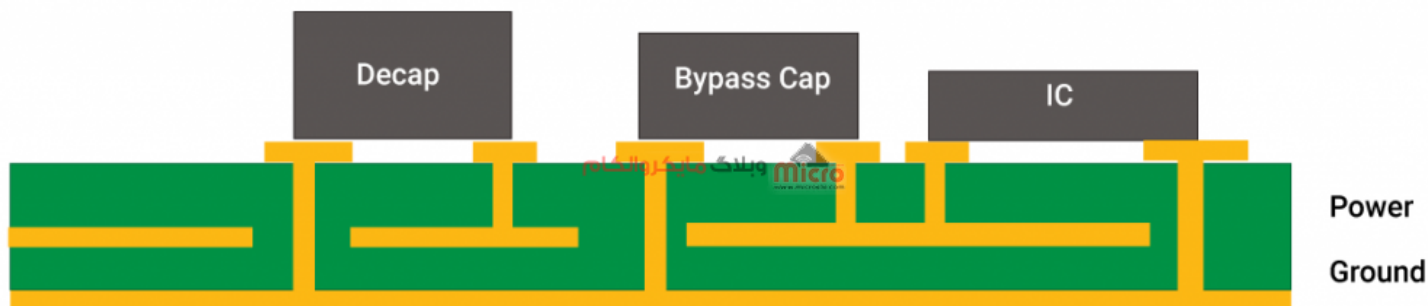
حساسیت یک IC به نوسانات تغذیه توسط پارامتر PSRR (Power Supply Rejection Ratio) یا PSR (بر حسب dB) بیان می‌شود. در حقیقت پارامتر PSRR بیانگر نسبت تغییرات ولتاژ خروجی به تغییرات ولتاژ منبع تغذیه است.

خازن دیکوپلینگ

خازن های decoupling قطعات غیر فعالی هستند که برای ذخیره انرژی بصورت محلی مناسب می‌باشند. بدلیل ماهیت اصلی و غیر ایده آل بودن آن، مدت زمانی برای شارژ و دشارژ شدن آن طی می‌شود. لذا از تغییرات سریع ولتاژ جلوگیری کرده و با عملکردی مانند یک منبع DC از آسیب به IC جلوگیری می‌کند. خازن decoupling بین منبع تغذیه و



مصرف کننده یا قطعه مورد بصورت موازی متصل می شود.

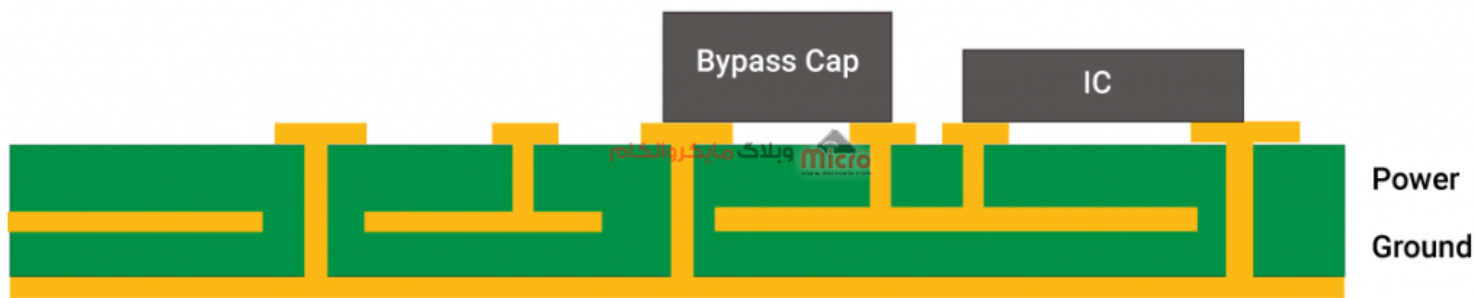


خازن دیکوپلینگ

برای مهار نوسانات و تداخلات تغذیه هر IC، این خازن ها باید بصورت محلی در نزدیک ترین محل به آن نصب شود. همه منابع تغذیه یک مقدار امپدانس و اندوکتانس ذاتی دارند که از تامین لحظه ای جریان جلوگیری می کنند. خازن دیکوپلینگ نوسان و افت ولتاژ منبع را کنترل کرده و ولتاژ ثابت و پایدار را حاصل می کند.

خازن بای پاس

خازن بای پاس نویز با اتصال نویز به زمین باعث جلوگیری از ورود نویز به سیستم می شود. این خازن بین پایه های ولتاژ تغذیه (V_{cc}) و GND نصب شده و برای کاهش نویز منبع تغذیه و اسپایک های ولتاژ روی خط تغذیه استفاده می شوند.

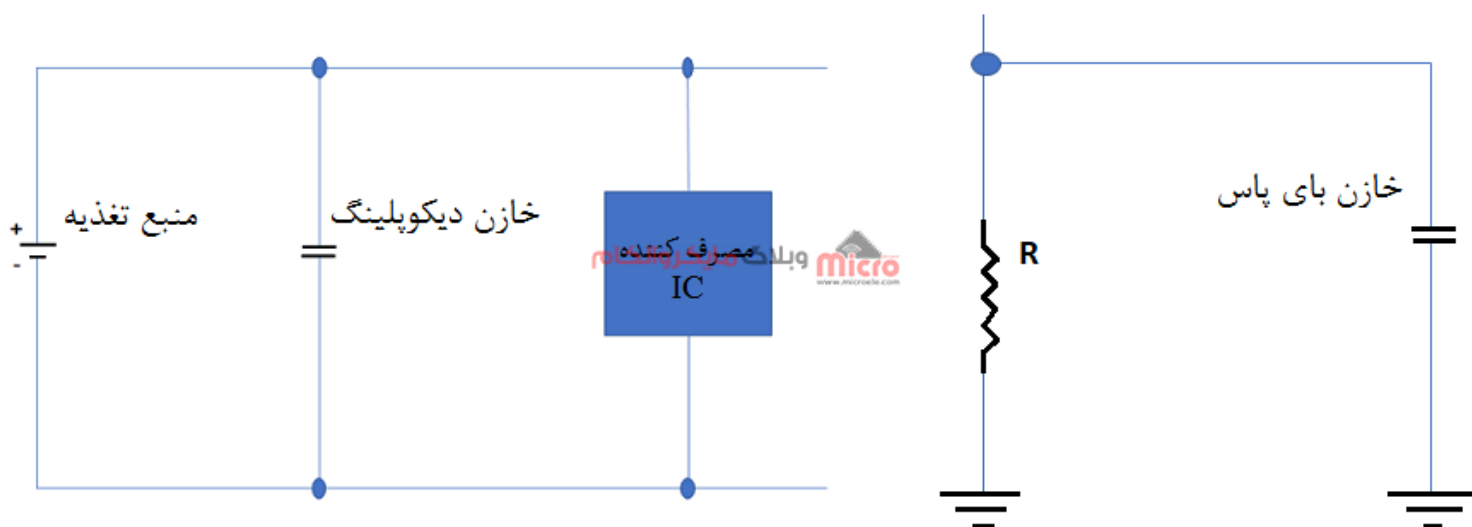


خازن بای پاس



تفاوت بین خازن decoupling و بای پاس

خازن دیکوپلینگ انرژی را ذخیره و آن را دوباره به خط تغذیه بازگردانده تا جریان عبوری بطور یکپارچه عبور کند. خازن بای پاس مسیر بازگشت سیگنال AC بین خط تغذیه به زمین را بوجود می‌آورد. به بیانی دیگر می‌توان گفت خازن دیکوپلینگ مستقیماً بین پایه تغذیه و GND مصرف کننده یا IC وصل شده و خازن بای پاس بین مسیر تغذیه تا زمین وصل می‌شود.



خازن دیکوپلینگ و بای پاس

با توجه به هدف و عملکرد این دو خازن، می‌توان هر دو خازن را بجای یکدیگر نیز استفاده کرد. در هنگام تغذیه هر دستگاه، هدف اولیه ایجاد یک مسیر با امپدانس خیلی کم می‌باشد. برخی از تفاوت های اصلی این دو خازن در زیر ذکر شده است.

- خازن بای پاس یک مسیر با امپدانس شنت خیلی کم برای نویز های فرکانس بالا ایجاد می‌کند. با این کار نویز فرکانس بالا قبل از رسیدن به کل مدار کاهش یافته و در نتیجه از مدار در برابر مشکلات EMI جلوگیری می‌کند. در طرف دیگر، خازن decoupling برای تثبیت تغییرات ولتاژ استفاده می‌شود.
- برای عملکرد شنت با امپدانس کم، یک خازن الکترولیتی کافی بوده اما برای تثبیت سیگنال، دو نوع خازن مختلف نیاز است.



دلیل استفاده از خازن های decoupling

از خازن های دیکوپلینگ برای ایزولاسیون و اتصال دو مدار به هم استفاده می شود. به بیانی دیگر، این خازن ها سیگنال های AC را از DC یا بالعکس جدا می کنند. در مورد افت ولتاژ در ورودی، خازن دیکوپلینگ توان لازم برای حفظ سطح ولتاژ راه اندازی قطعه مورد نظر را ارائه می دهد. و در حقیقت از افت ولتاژ جلوگیری می کند. همچنین در صورت افزایش ولتاژ، خازن decoupling از جریان کشی بیشتر جلوگیری کرده تا ولتاژ را ثابت نگاه دارد.



تصویر یک PCB با خازن دیکوپلینگ و خازن های پاس

جنس و نوع خازن مورد استفاده برای دیکوپلینگ

خازن الکترولیت

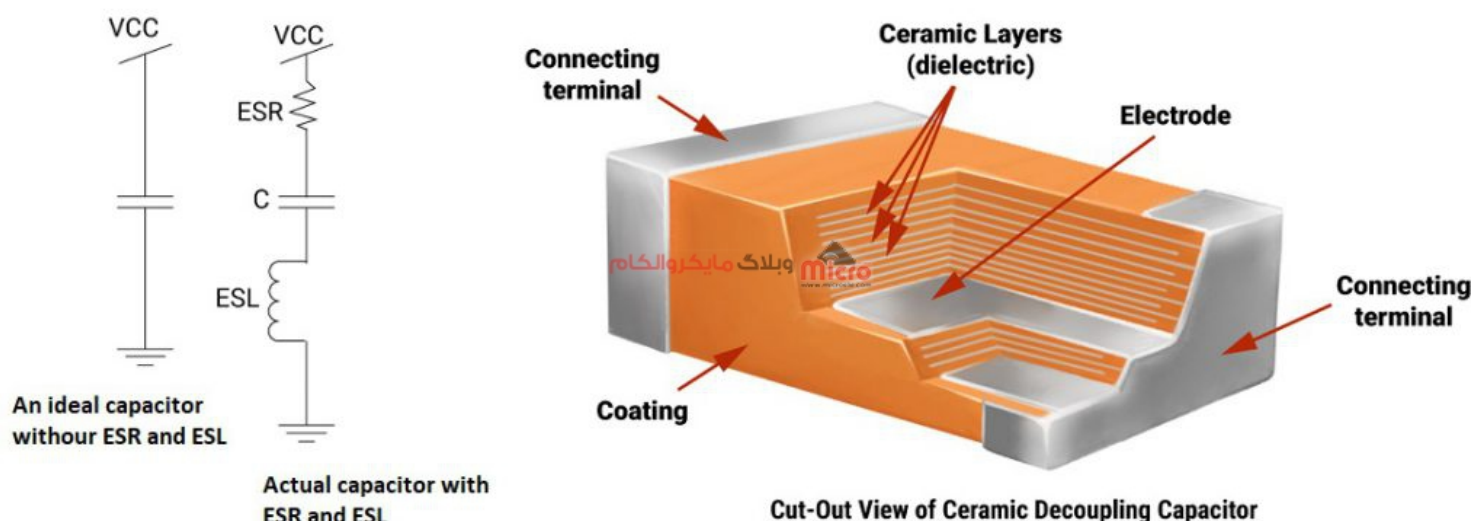
خازن های الکترولیتی با ظرفیت زیاد (1uF تا 100uF) برای دیکوپل کردن نویز فرکانس های پایین استفاده می شود. این



خازن ها مانند یک منبع عمل کرده تا نیاز مدار به شارژ آنی را برآورده کند. این چنین خازن هایی نباید بیشتر از 2 اینچ (50.8mm) از IC یا قطعه مورد نظر فاصله داشته باشند. باید حتما این نکته را مد نظر داشت همه خازن های الکترولیتی پلاریزه هستند. لذا نمی توانند بیشتر از 1 ولت بایاس معکوس را بدون آسیب دیدن خود تحمل کنند. این خازن ها نسبتا دارای جریان نشتی بیشتری هستند. میزان این جریان نشتی متناسب با طراحی، سایز الکتریکی و ولتاژ کاری در مقابل ولتاژ اعمالی می تواند متغیر باشد. با این حال جریان نشتی تاثیر آنچنان زیادی در دیکوپلینگ نمی گذارد.

خازن سرامیکی

خازن های سرامیکی اندوکتانس کم با قابلیت نصب سطحی (0.01uF تا 0.1uF) برای دیکوپل کردن نویز فرکانس بالا منبع تغذیه استفاده می شود. این خازن ها بصورت مستقیم به پایه های تغذیه قطعه مورد نظر مثلا IC متصل می شوند.



خازن سرامیکی MLCC

خازن های سرامیکی بصورت جمع و جور بوده و تلفات کمتری دارند. از خصوصیات این مدل خازن می توان به محدوده دمایی وسیع تر، ESR/ESL کمتر، پایداری، قابلیت اعتماد و محدوده ولتاژ قابل تحمل وسیع تر اشاره کرد. انواع Y5V و X7R، Z5U با مقادیر تا چندین میکرو فاراد با ثابت دی الکتریک بالا و ولتاژ کاری تا 200 ولت وجود دارند.

خازن سرامیکی نوع X7R بدلیل تغییرات کمتر ظرفیت خازنی آن در بایاس DC نسبت به مدل های Z5U و Y5U دارای ارجحیت بیشتری در استفاده از آن می باشد. علاوه بر این، مدل COG (NP0) با ظرفیت 0.1uF یا کمتر بدلیل ضریب دی الکتریک کمتر و ولتاژ کمتر از آنها نیز استفاده می شود.



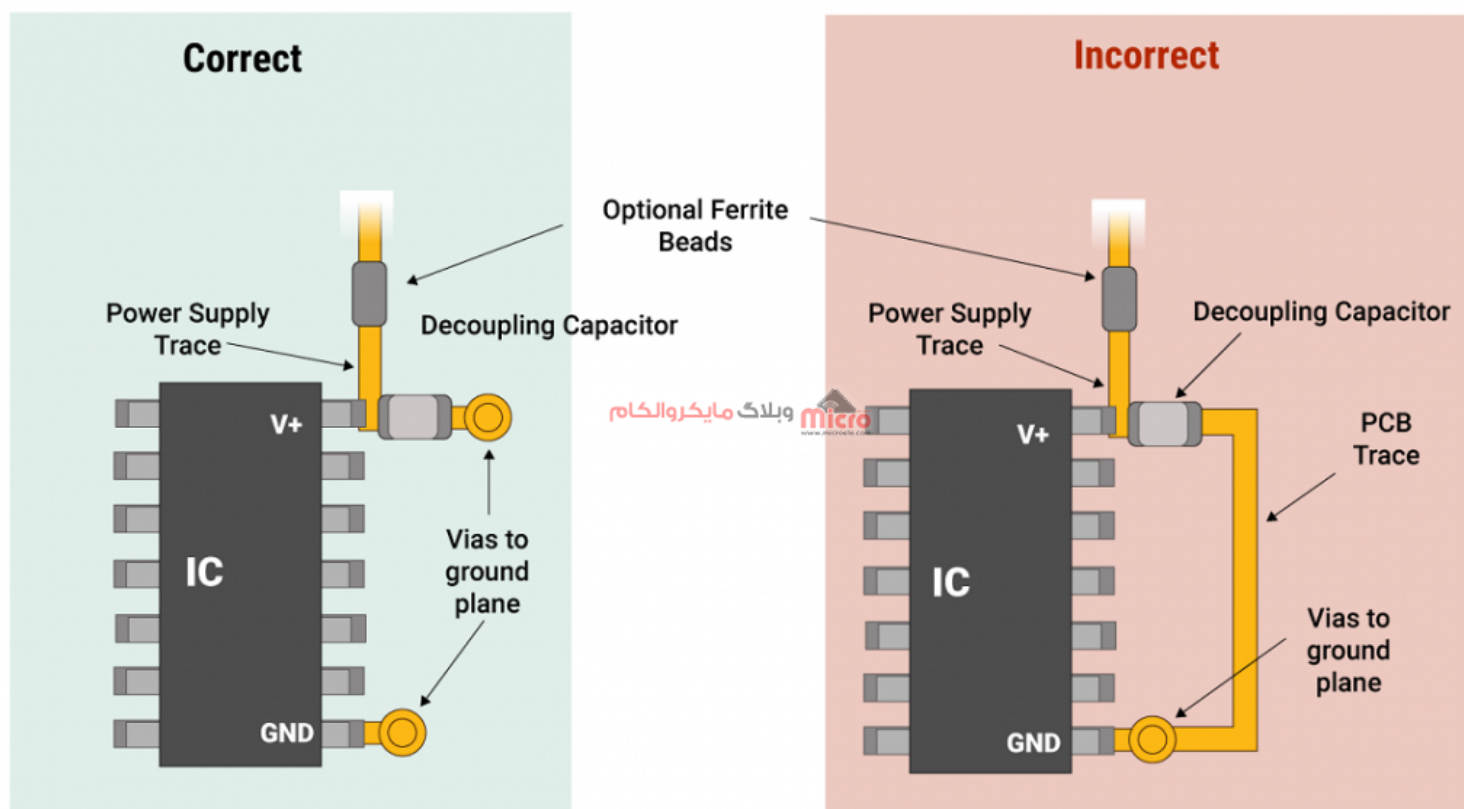
خازن سرامیکی چند لایه (MLCC)

از خازن های MLCC بدلیل اندوکتانس کمتر بعنوان بای پاس و فیلترینگ در فرکانس 10MHz یا بیشتر استفاده می شود. برای تاثیر بیشتر، همه خازن های decoupling باید حتما بصورت مستقیم به صفحه زمین کم امپدانس متصل گردند. عموماً برای کاهش اندوکتانس سری، توصیه می شود که این خازن ها با ترک ها کوتاه یا via وصل شوند.

نحوه قرار گیری خازن دیکوپلینگ

نحوه قرار گیری خازن دیکوپلینگ بدلیل کاهش مقاومت و اندوکتانس بسیار مهم و حیاتی است. بطور ایده آل این خازن باید ظرفیت خازنی را حداکثر و مقاومت و اندوکتانس را به حداقل کاهش دهد. نحوه قرار گیری و مونتاژ این خازن در ادامه آمده است.

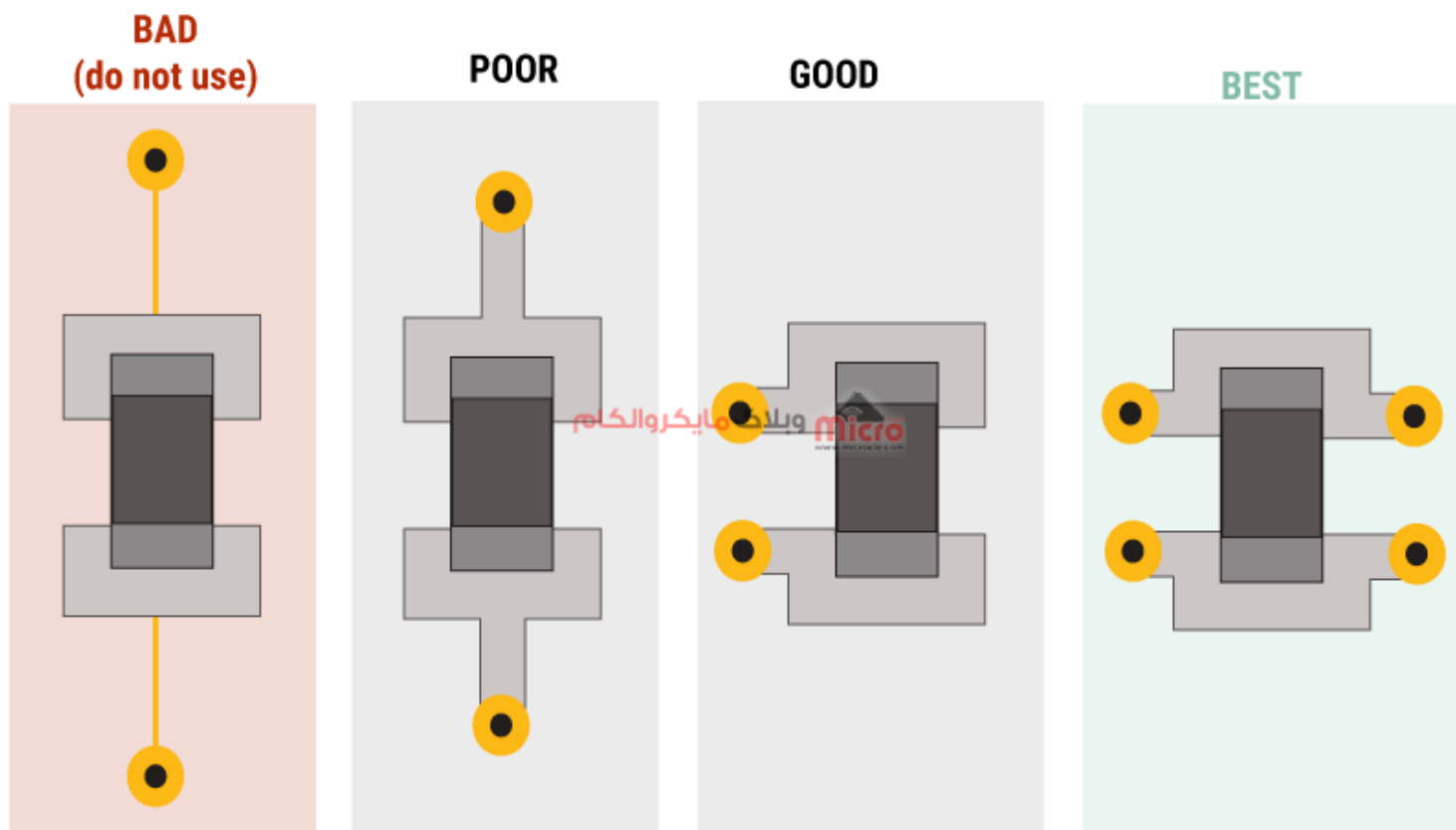
- خازن دیکوپلینگ باید تا حد امکان در نزدیکی IC قرار گرفته تا با فیلتر کردن نویز از تراشه و یا قطعه مورد نظر محافظت نماید. طبعاً اگر رعایت نشود و دور تر قرار نصب گردد کارایی لازم را نخواهد داشت.



محل نصب و مونتاژ صحیح خازن دیکوپلینگ

همانطور که در مدار سمت چپ در تصویر زیر مشاهده می‌شود، بهترین حالت قرار گیری خازن بدلیل فاصله کم آن مشخص شده است. در مدار سمت راست بدترین حالت قرار گیری خازن مشخص شده است. در مدار سمت راست ترک کشیده شده جهت اتصال پایه دوم خازن به زمین خود ممکن است بدلیل تشکیل یک حلقه موجب ایجاد و تاثیر تداخل و نویز شود. همچنین این چینش باعث ایجاد مقاومت و اندوکتانس زیاد شده و اصلا توصیه نمی‌شود.

- همیشه خازن دیکوپلینگ را بین منبع و IC یا مصرف کننده بصورت موازی قرار دهید.
- قرار دادن یک خازن بصورت سری با ورودی و مسیر خروجی باعث حذف فرکانس های پایین از سیگنال های ورودی و خروجی خواهد شد.
- قرار دادن یک خازن بصورت موازی با مقاومت باعث کاهش EMI فرکانس بالا می‌شود.
- هنگام استفاده از Via جهت اتصال به صفحه تغذیه، خازن را به بین قطعه مورد نظر متصل کرده سپس به Via تا از عبور جریان اطمینان حاصل شود. به تصویر زیر دقت کنید.



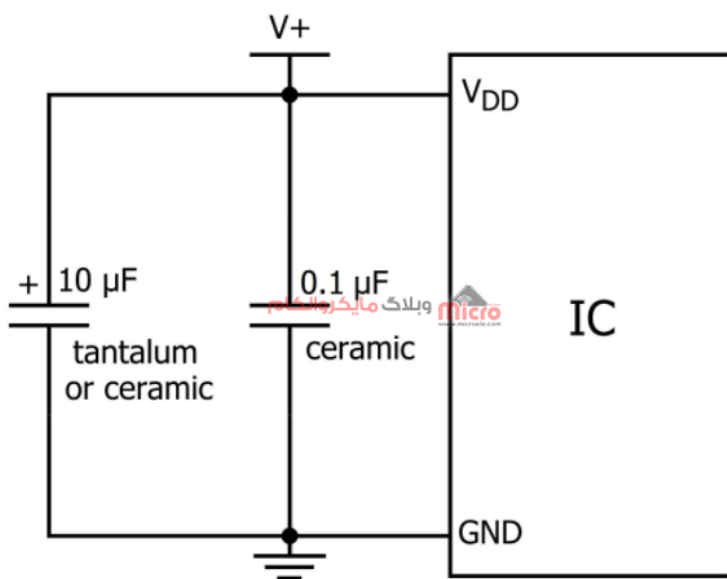
بهترین حالت روتینگ خازن دیکوپلینگ

- از خازن دیکوپلینگ برای جداسازی سیگنال های آنالوگ و دیجیتال نیز استفاده می شود. برای این کار یک خازن بین AC و زمین PCB دیجیتال وصل می کنند.
- از اینکه صفحه تغذیه و GND پیوسته و در لایه مجاور هستند مطمئن شوید. قرار دادن خازن در نزدیک ترین قسمت به قطعه مهم است. این کار باعث کوتاه تر کردن تا حد ممکن مسیر های زمین و تغذیه خواهد شد.
- صفحات تغذیه و زمین مجاور بهتر است بصورت متقارن قرار گیرد. همچنین توصیه می شود تعداد لایه ها بین صفحات و خازن دیکوپلینگ را کاهش دهیم.



نحوه استفاده از خازن دیکوپلینگ

شماتیک زیر را در نظر بگیرید. این مدار یک مدار نمونه برای استفاده از خازن های دیکوپلینگ است. همانطور که مشخص است، یک خازن 10uF در فاصله بیشتری از IC نصب شده که به حذف اثر هرگونه تغییرات فرکانس پایین در ورودی کمک می کند. علاوه بر این، خازن 0.1uF هم در نزدیک ترین قسمت به IC وصل شده است. این خازن به حذف اثر تغییرات فرکانس بالا در مدار کمک می کند.



خازن دیکوپلینگ در شماتیک

هنگامی که این دو خازن را با یکدیگر استفاده می کنیم، باعث می شود تغذیه IC صاف و بدون وقفه به IC مورد نظر می رسد. این بهترین حالت تغذیه خواهد بود. علاوه بر این هنگام استفاده از خازن دیکوپل در طراحی خود این 3 مورد را حتما در ذهن داشته و از آن در طراحی استفاده کنید.

- **محل قرار گیری:** همیشه می خواهیم خازن دیکوپل را بین منبع و زمین وصل کنیم. حال این منبع می تواند 5 یا 3.3 ولت باشد.
- **فاصله:** همیشه باید خازن دیکوپل را در نزدیک ترین محل به IC نصب کرد. در غیر اینصورت کارایی لازم را نخواهد داشت.
- **مقادیر:** بعنوان یک دستور عمل کلی، توصیه می شود یک خازن سرامیکی 100nF و یک خازن الکتrolیتی بزرگتر بین 0.1uF تا 100uF برای هر مدار مجتمع روی برد در نظر بگیریم.



انتخاب مقدار مناسب برای خازن decoupling

تعداد خازن های مورد استفاده بستگی به تعداد پایه های تغذیه و زمین و همچنین I/O های موجود در مدار دارد. خازن دیکوپل را متناسب با فرکانس خود رزونانس زیاد و همچنین بر اساس پهنای باند یا فرکانس کاری باید انتخاب کرد. منظور از فرکانس خود رزونانس: یک خازن تا این فرکانس مثل یک خازن عمل کرده و از بیشتر از آن مانند یک سلف می شود. امپدانس خازن دیکوپل در فرکانس $\omega = 1/LC$ به حداقل مقدار خود خواهد رسید. این فرکانس به فرکانس رزونانس (تشدید) خازن دیکوپلینگ معروف می باشد.

$$F = 1/2\pi\sqrt{LC}$$

با خازن کوچک تر و ظرفیت سلفی کمتر، فرکانس تشدید بیشتری حاصل می شود. فرکانس خود رزونانس بیشتر با انتخاب قطعه کوچکتر مثلاً نصب سطحی حاصل می شود. معمولاً یک قطعه با پکیج کوچکتر دارای اندوکتانس parasitic کمتری می باشد. خازن دیکوپل نویز فرکانس پایین باید مقداری بین 1uF تا 100uF داشته باشد. همچنین مقدار خازن مربوط به نویز فرکانس بالا باید مقداری بین 0.01uF تا 0.1uF داشته باشد.

- خازن باید دارای مقدار مقاومت سری معادل (ESR) و اندوکتانس سری معادل (ESL) کم باشد. از آنجا که یک خازن نیاز به تامین سریع جریان دارد، باید از خازنی با ESR و ESL پایین استفاده شود.
- بهتر است پکیج خازن کوچک تر باشد. خازن های جمع جور (پکیج کوچک) باعث کاهش حلقه شده و در نتیجه باعث کاهش بیشتر اندوکتانس نیز خواهند شد.

نحوه انتخاب خازن برای مدار دیجیتال

سایز خازن دیکوپل متناسب با امپدانس شبکه توزیع توان یا PDN (Power Distribution Network) و شارژ مورد نیاز IC سوئیچینگ محاسبه و انتخاب می شود. محاسبه و انتخاب دقیق سایز خازن و قرار گیری صحیح آن به کاهش رپیل و نویز در مدار کمک زیادی می کند. فرمول زیر اندازه خازن دیکوپل بر اساس جریان کشیده شده در هنگام سوئیچینگ و ولتاژ IC را نشان می دهد.



$$C = \frac{\Delta I \cdot T_{rise}}{2V_{IC}}$$

فرمول

در این فرمول T_{rise} مربوط به زمان صعود، V_{IC} مربوط به ولتاژ IC و ΔI مربوط به جریان کشیده شده است. در نظر داشته باشید فرمول بالا در شرایطی که پهنای باند سیگنال کمتر از فرکانس خود رزونانس خازن باشد صادق است. پهنای باند سیگنال بصورت تقسیم عدد 0.35 بر مقدار زمان صعود سیگنال (T_{rise}) بدست می آید.

نحوه انتخاب خازن برای مدار آنالوگ

فرمول زیر مربوط به محاسبه خازن در PDN آنالوگ می باشد. در این فرمول F فرکانس، V_{IC} ولتاژ IC و I جریان کشیده شده می باشد.

$$C = \frac{I}{2\pi f V_{IC}}$$

فرمول

انتخاب خازن متناسب با امپدانس PDN

خازن decoupling شارژ مورد نیاز به موقع تامین کرده و امپدانس خروجی PDN را کاهش می دهد. عملاً یک خازن دیکوپل در یک محدوده فرکانسی مشخص موثر است. امپدانس یک خازن دیکوپل رابطه مستقیمی با فرکانس دارد. مثلاً با کاهش فرکانس، امپدانس آن نیز بصورت خطی کم شده و یا بالعکس با افزایش فرکانس، امپدانس نیز افزایش پیدا می کند. این افزایش امپدانس بدلیل اندوکتانس parastic خازن دیکوپل می باشد.

یکی از بهترین روش ها برای مشخص کردن مقدار خازن، بر اساس امپدانس مورد نظر در PDN می باشد. مقدار خازن دیکوپل بر اساس رپیل ولتاژ مورد نیاز، امپدانس مورد نظر در PDN و ولتاژ مورد نظر PDN در فرمول زیر مشخص



شده است. در این فرمول F همان فرکانس، V_{IC} ولتاژ IC، مقدار V_{ripple} همان رپل ولتاژ و Z_{PDN} امپدانس مورد نظر در PDN می باشد.

$$C = \frac{V_{ripple}(C)}{2\pi f V_{IC} Z_{PDN}(C, f)}$$

فرمول

امپدانس مورد نظر PDN و رپل ولتاژ PDN تابعی از مقدار خازن بوده و حل آن را دشوار می کند. محاسبه C مستلزم چندین بار تکرار آن می باشد. فرمول بالا بدلیل لحاظ کردن فرکانس تشدید خازن دیکوپل و رزونانس هایی که در اثر پدیده parastic ایجاد می شود در فرمول، خیلی دقیق تر است. هنگام محاسبه Z_{PDN} برای مقادیر مختلف فرکانس و خازن، به بهترین مقدار خازن برای کمتر کردن Z_{PDN} در همه محدوده فرکانسی ها خواهیم رسید. در نظر داشته باشید مقدار دقیق خازن دیکوپل مورد نیاز همواره در دیتاشیت ذکر می گردد.

انتخاب مقدار مناسب برای خازن بای پاس

راکتانس خازن اضافه شده به مدار باید $1/10$ یا کمتر از مقاومت موازی باشد. جریان همیشه مسیر با مقاومت کمتر را انتخاب می کند. بنابراین اگر می خواهیم سیگنال AC را به زمین وصل کنیم، باید خازن ما دارای مقاومت کمی باشد. مقدار خازن بای پاس توسط فرمول زیر محاسبه می گردد. در این فرمول F بیانگر فرکانس (متناسب با فرکانس کاری مدار) و X_C همان مقاومت یا راکتانس خازن می باشد.

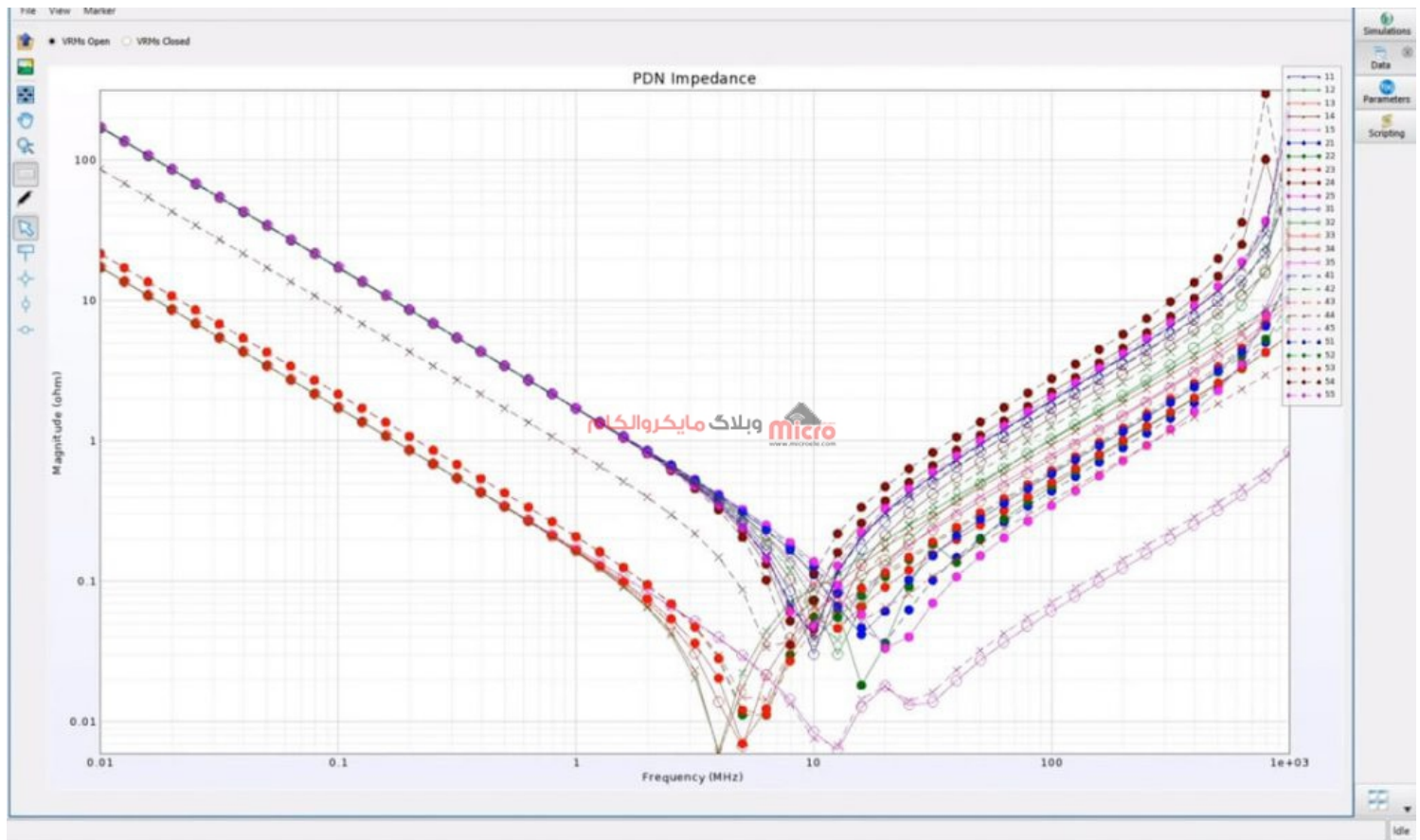
$$C = \frac{1}{2\pi f X_C}$$

فرمول



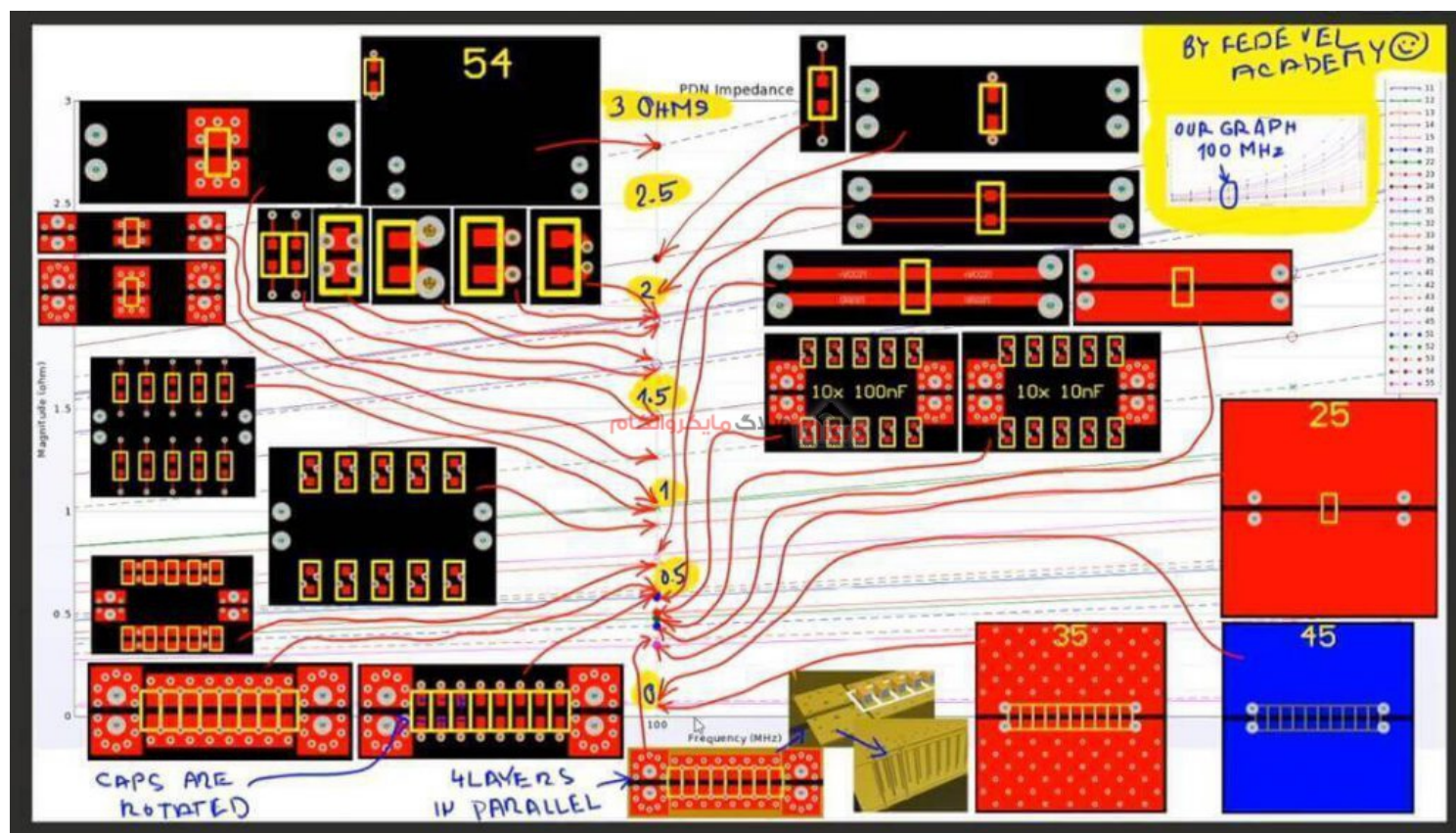
تاثیر نحوه چینش، مسیر و تعداد خازن بر PDN

در تصویر زیر نمودارهای مربوط به انواع حالت های چینش، تعداد خازن، ترکیب، تعداد یا قرارگفتن Via بر نمودار امپدانس PDN را مشاهده می‌نمایید. مطابق با این نمودار هر چه مقدار امپدانس PDN بیشتر باشد اتصال خازن دیکوپل بد و اشتباه است. اما چنانچه خازن بدرستی چینش و متصل گردد باعث شده که مقدار امپدانس PDN کاهش یابد و بهترین نتیجه حاصل شود.



تاثیر خازن دیکوپلینگ در میزان امپدانس PDN

در تصویر زیر حالت های مختلف چینش و اتصال و تعداد خازن دیکوپل به پایه های پاور قابل مشاهده است. بهترین حالت زمانی است که خازن یا خازن ها در نزدیک ترین نقطه به قطعه، اتصال مستقیم، استفاده از سطح گسترده برای اتصال و استفاده از Via باشند. برای مشاهده تصویر با کیفیت بیشتر بر روی [این لینک](#) کلیک کنید.



تأثیر چینش، تعداد خازن دیکوپلینگ، استفاده از Via و ترک مناسب در امپدانس PDN

نتیجه جالب اینکه مطابق با این شبیه سازی، اگر مسیر دیکوپلینگ مستقیم باشد بهتر از اتصال از طریق Via بوده و همچنین تا جای ممکن سعی شود خازن دیکوپل در یک طرف مشابه با قطعه مورد نظر باشد.

نتیجه گیری

خازن ها یکی از قطعات پرکاربرد و به نوعی همه کاره در طراحی مدارات الکترونیکی می باشند. از همین رو یکی از کاربردهای مهم آن استفاده بعنوان دیکوپلینگ است. در حقیقت ممکن است یکپارچگی توان و سیگنال در PCB به نوعی وابسته به نحوه و محل قرار گیری این خازن و خازن های بای پاس باشد.

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.