معرفی چوک مد مشترک (فیلتر مد مشترک) و کاربرد آن در نویز EMI

تاریخ انتشار۱۸ آذر, ۱۴۰۲ توسط سید حسین سلطانی

سلام خدمت همه شما مایکروالکامی ها. در مطلب قبلی از نکات طراحی PCB به معرفی نویز مد مشترک و مد تفاضلی (دیفرانسیلی) پراخته شد. در این مطلب به بررسی فیلتر مد مشترک یا چوک مد مشترک (CMC) و کاربرد آن در حذف نویز EMI و تاثیر آن بر EMC پرداخته خواهد شد. پس با من تا انتهای مطلب همراه باشید. همچنین شما میتونید سایر مطالب من رو از این لینک مطالعه و بررسی کنید.

مقدمه

استاندارد های گوناگونی توسط ارگان و دفاتر نظارتی متعددی از جمله ISO، CE، FCC و ... برای سازگاری الکترمغناطیسی یا EMC و نیاز های آن در دستگاه های الکترونیکی و الکتریکی معرفی شده است. هنگامی که از EMC یاد می‌شود، باید به قابلیت عملکرد درست دستگاه های الکتریکی یا الکترونیکی در مقابل نویز الکترومغناطیس (EMI) توجه کرد. این نویز می‌تواند دارای منابع خارجی یا منابع داخلی (قطعات یا مدارت داخلی) باشد. طراحان باید دفع و عدم تاثیر این نویز ها را بر طراحی و ساخت دستگاه مقدم بدانند. از همین جهت، برای پشت سر گذاشتن تست EMC باید الزامات و نکات آن حین طراحی به خوبی رعایت شود.

نویز الکترومغناطیس EMI

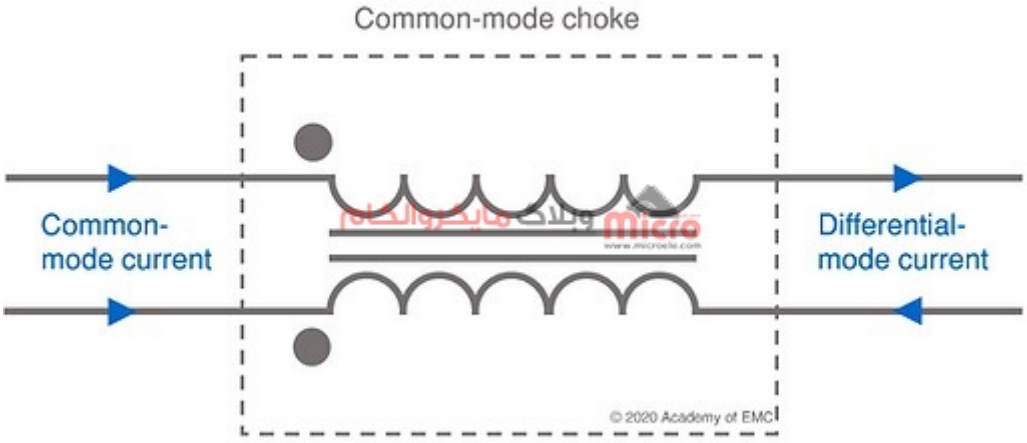
EMI یا Electromagnetic Interference و به معنی نویز الکترومغناطیس می‌باشد. این نویز در واقع یک اختلال ناخواسته مغناطیسی با سیگنال نویزی است که می‌تواند منبع داخلی یا خارجی داشته باشد. ممکن است منبع این نویز از سایر منابع مانند فرکانس های رادیویی، سیستم توزیع برق، شبکه تلفن همراه، منبع تغذیه سوئیچینگ، موتور الکتریکی و حتی منابع طبیعی نیز باشد.

همه منابع موثر در تولید EMI به یکی از روش های تابشی (تشعشعی)، تخلیه الکتریسیته ساکن (ESD) یا ارتباط فیزیکی می‌توانند باعث نفوذ نویز به سیستم الکترونیکی شوند. نویز الکترومغناطیسی EMI می‌تواند یکپارچگی سیگنال را در دستگاه های الکترونیکی تحت تاثیر قرار داده و منجر به اختلال در عملکرد صحیح دستگاه، کاهش کارایی و عملکرد سیستم و حتی خرابی دائمی در سیستم به بار آورد. لذا توجه کردن به اصول و قواعد EMC در طول طراحی یکی از کار های مهمی است که باید طراح در نظر داشته باشد.

چوک مد مشترک (common mode choke)

در مطلب قبلی نویز های مد مشترک و مد تفاضلی بررسی شد. چوک های مد مشترک در مدار های قدرت و دیجیتال استفاده می‌شود. مسیر دیتا در مدار های الکترونیکی و ارتباطی معمولا بصورت زوج برای انتقال دیتا با دامنه سیگنال

یکسان اما با پلاریته مختلف استفاده می‌شوند. از همین رو آنها را مسیر یا خطوط زوج دیفرانسیلی نیز می‌نامند و در گیرنده سیگنال ارسالی اصلی از اختلاف ولتاژ بین این دو مسیر دریافت یا بازسازی می‌شود.



شمای فنی فیلتر مد مشترک (چوک مد مشترک)

مسیر یا خطوط زوج دیفرانسیلی مستعد تاثیرپذیری از دو نوع نویز دیفرانسیلی و مد مشترک می‌باشند. نویز دیفرانسیلی فقط برروی یکی از دو خط/مسیر قبل از نفوذ و تکثیر آن، قرار گرفته اما نویز مد مشترک برروی هر دو مسیر دیفرانسیلی بصورت همزمان در یک جهت ظاهر می‌شود. برای کاهش یا حذف اثر نویز های یاد شده، در طراحی عموما روش های مختلفی اتخاذ می‌گردد. به عنوان مثال در بعضی موارد منجر به استفاده از شیلد فلزی، بهبود روتینگ در PCB، چینش قطعات و لایه بندی و استفاده از فیلتر های passive می‌شود. البته می‌توان از ترکیب این موارد نیز برای بهبود و کارایی بهتر نیز بهره برد.

حفاظت در برابر مدار و سیستم شامل اجزا و روش های مختلفی است که برای کاهش و حذف نویز مد مشترک و نویز تفاضلی استفاده می‌شود. یکی از این روش ها و اجزا استفاده از فیلتر چوک مد مشترک (CMC) یا فیلتر مد مشترک می‌باشد. CMC یا چوک مد مشترک یکی از قطعات غیرفعال (passive) الکترومغناطیسی بوده که اجازه عبور سیگنال های مورد نظر power یا دیتا را داده ولی مانع از عبور نویز های فرکانس بالا ناشی از منبع خارجی یا قطعات داخلی می‌شود. به این صورت رفتار فیلتر از خود نشان می‌دهد.

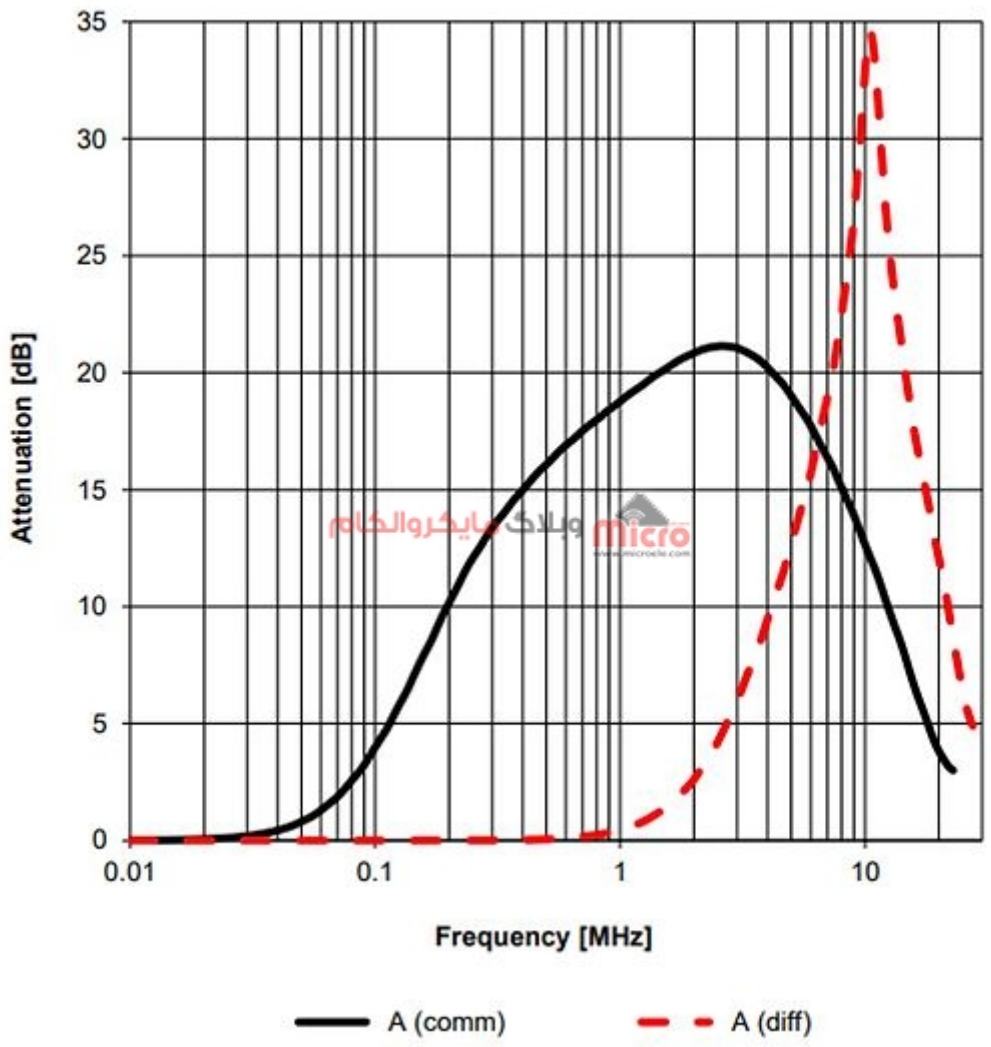
ویژگی های فیلتر مد مشترک یا چوک مد مشترک

یک فیلتر مد مشترک ایده آل بصورت کامل نویز مد مشترک را حذف کرده (امپدانس مشترک بی‌نهایت) و سیگنال تفاضلی را بصورت کامل (امپدانس تفاضلی صفر) عبور می‌دهد. اما در عمل محدودیت هایی وجود دارد. لذا باید در

انتخاب فیلتر محل کاربرد و محدوده فرکانسی مورد نیاز را دانست تا چوک مناسب انتخاب شود. امپدانس مربوط به سیگنال های مد مشترک را امپدانس مشترک و امپدانس مربوط به سیگنال تفاضلی را امپدانس تفاضلی می‌نامند. جهت اندازه گیری پاسخ فرکانسی هر کدام، باید فیلتر مد مشترک بشکل زیر استفاده شود.

اندازه گیری پاسخ فرکانسی فیلتر مد مشترک (سمت چپ: اندازه گیری مد مشترک ـ سمت راست: اندازه گیری مد تفاضلی)

معمولا در دیتاشیت چوک مد مشترک، منحنی امپدانس مد مشترک و نویز مشترک وجود دارد. از این نمودار می‌توان میزان تضعیف یا حذف سیگنال های مربوط به حالت مد مشترک و مد دیفرانسیلی را فهمید. در تصویر زیر منحنی خط چین قرمز مربوط به مد تفاضلی و منحنی مشکی مربوط به مد مشترک است.



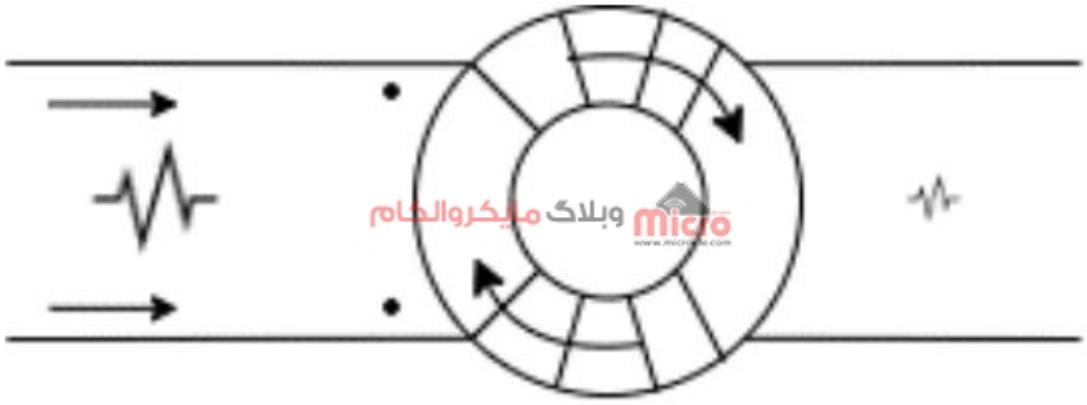
منحنی تضعیف یا حذف سیگنال مد مشترک و مد دیفرانسیلی

نحوه عملکرد چوک مد مشترک

حالت مد مشترک

با نفوذ و وارد شدن نویز در خطوط زوج دیفراسنیلی، از آنجا که از طریق چوک مد مشترک منتشر می‌شود باعث القا

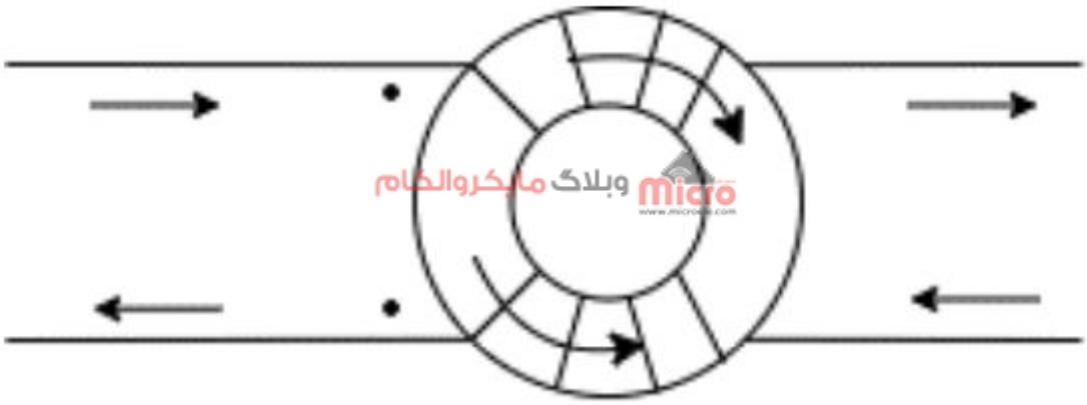
شار مغناطیسی در هر دو سیم پیچ چوک CMC خواهد شد. بدلیل ساختار فیزیکی CMC، شار مغناطیسی ناشی از سیگنال نویز با شار مغناطیسی خط دیگر ترکیب شده و یک میدان مغناطیسی دوار در هسته ایجاد می‌نماید. لذا CMC همانند یک سلف با امپدانسی متناسب با فرکانس نویز عمل کرده و به عنوان مد مشترک شناخته می‌شود. در این حالت فرکانس های کم عبور کرده ولی از عبور فرکانس بالا جلوگیری به عمل می‌آید. در تصویر زیر نحوه عملکرد CMC در حالت مد مشترک نمایش داده شده است.



عملکرد چوک مد مشترک(CMC) در حالت مد مشترک

حالت مد تفاضلی

درصورتیکه جریان سیگنال تفاضلی در زوج دیفرانسیلی در جهت عکس جریان پیدا کند، هر مسیر باعث القا شار مغناطیسی به اندازه مسیر دیگر شده اما دارای پلاریته یا جهت برعکس می‌باشد. از همین رو باعث خنثی کردن اثر یکدیگر شده و باعث عبور سیگنال دیفرانسیلی با حداقل تضعیف سیگنال و تلفات می‌شود. در تصویر زیر نحوه عملرد چوک در سیگنال دیفرانسیلی قابل مشاهده است. بصورت تئوری درایو و هدایت کردن هسته CMC در اشباع توسط اثر سیگنال دیفرانسیلی امری غیر ممکن است. برای همین تولیدکنندگان مقدار جریان عبوری را برحسب افزایش دما بدلیل تلفات هسته و سیم مسی در نظر می‌گیرند.



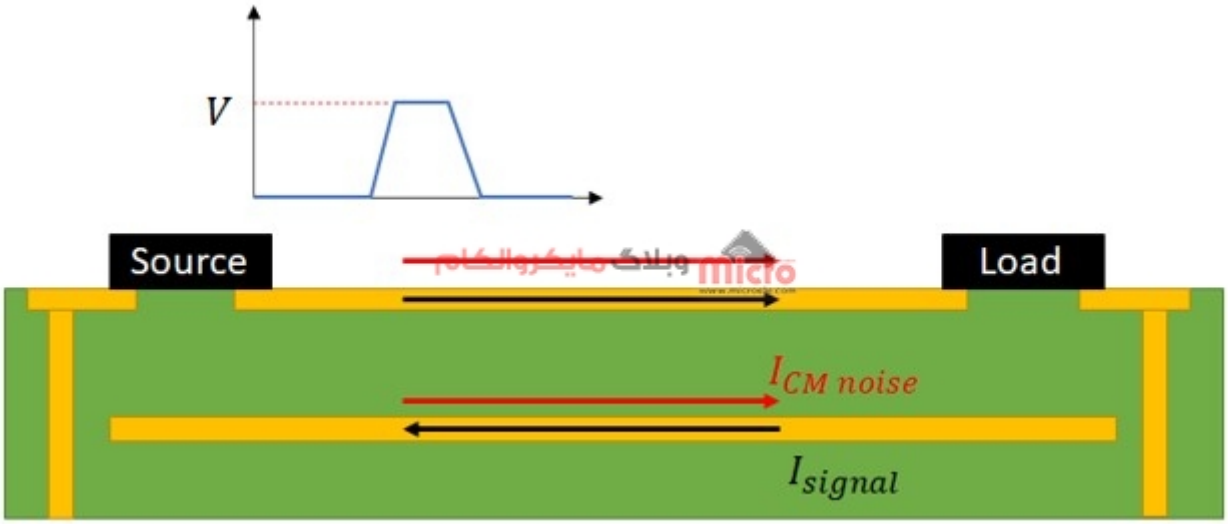
خنثی کردن شار مغناطیسی در برابر سیگنال دیفرانسیلی

انواع چوک مد مشترک CMC

دو دسته بندی برای چوک CMC وجود دارد. اولا بر مبنای سیگنال فیلتر شده باعث دسته بندی نوع power یا سیگنال شده و ثانیا بر اساس محدوده فرکانسی (رادیویی RF یا صوتی AF) بیان می‌شود. چوک های نوع فرکانس صوتی یا AF برای جلوگیری از نویز در محدوده فرکانس صوتی (تا 30KHz) مورد استفاده قرار می‌گیرد. مثلا در کاربردهایی نظیر مدارت قدرت از CMC در مدارت تغذیه، یکسوساز های AC/DC، مدار بالاست الکتریکی، دستگاه های فرکانس متغیر و اینورتر ها کاربرد دارد.

در مواردی مانند وجود سیگنال های دیفرانسیلی و چوک های RF، فرکانس نویز بالاتر از 30KHz است. چوک های سیگنال عموما در مدارت HDMI، USB، درگاه CAN، تکنولوژی LVDS و Ethernet کاربرد دارند. تفاوت الکتریکی این دو چوک عمدتا در جنس هسته بکار رفته در ساخت آنها است. چوک های AF بیشتر برای مدارات قدرت مناسب بوده و از هسته آهنی جامد با اشباع بالا و جریان عبوری بیشتر طراحی شده اند. چوک های RF از پودر فرومغناطیسی برای ساخت هسته آن استفاده شده و برای مدارت و کاربردهای جریان کم مناسب می‌باشند.

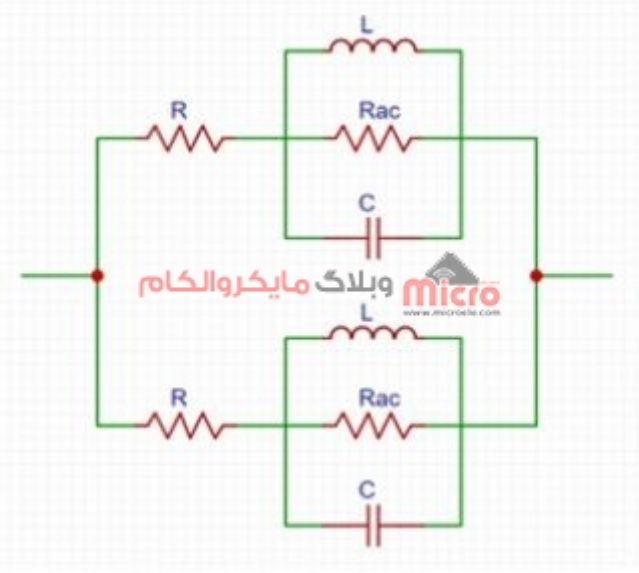
*LVDS: Low Voltage Differential Signaling



جهت نویز مد مشترک در مقایسه با سیگنال و مسیر برگشتی

مدار معادل چوک CMC

مشخصه امپدانس-فرکانس یکی از پارامتر هایی است که باید هنگام انتخاب چوک CMC به آن توجه کرد. هنگام عبور سیگنال مد مشترک از زوج دیفرانسیلی، چوک CMC به عنوان فیلتر در فرکانس مورد نظر عمل می‌کند. می‌توان اینگونه بیان کرد که هرچه امپدانس در آن فرکانس ها بیشتر باشد، سیگنال بیشتر تضعیف خواهد شد. بطور کلی چوک CMC که دارای بیشترین امپدانس در فرکانس نویز باشد انتخاب خوبی خواهد بود. مدار معادل چوک مد مشترک در تصویر زیر نمایش داده شده است.



مدار معادل چوک مد مشترک *CMC*

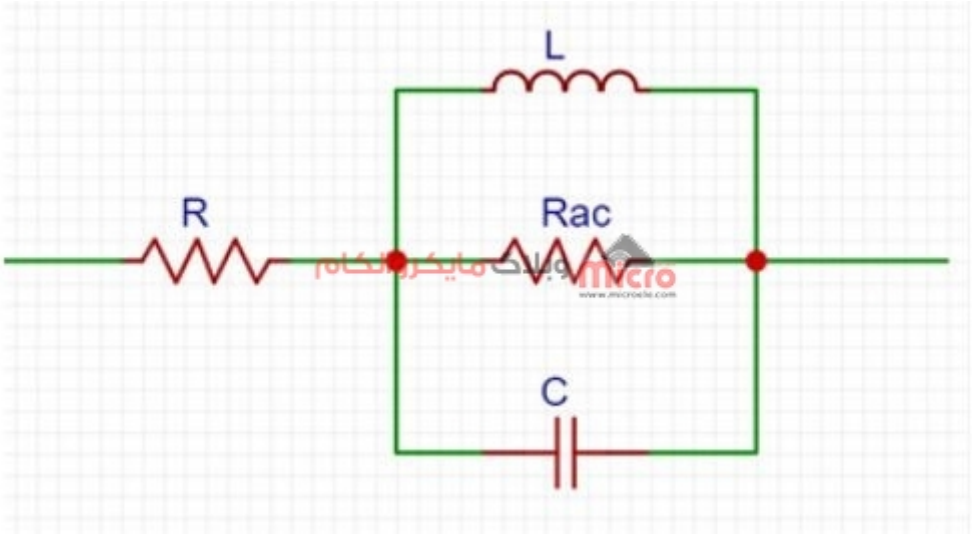
Rac: تلفات *AC*، *L*: ظرفیت سلفی سیم پیچ، *C*: خازن داخلی سیم پیچ، *R*: مقاومت سیم پیچ.

جهت سهولت در محاسبات فرض شده هر دو سیم پیچ یکسان و بدون نشتی می‌باشند، لذا مدار ساده شده تصویر بالا به شکل زیر می‌باشد.

$$Z_{eq} = [R + (Z_L \parallel R_{ac} \parallel Z_C)] \parallel [R + (Z_L \parallel R_{ac} \parallel Z_C]$$

از طرفی داریم:

$Z_L = j\omega L$ و $Z_C = 1 / j\omega C$ $Zeq = [R + (ZL \parallel Rac \parallel ZC)] / 2$



مدار معادل *CMC*

با توجه به مدار RLC فوق می‌توان امپدانس را طبق فرمول زیر محاسبه کرد و با ساده سازی آن به فرمول دوم خواهیم رسید.

$$Z_{eq} = \frac{\left[R + \left(\frac{1}{\left(\frac{1}{Rac}\right) + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})}\right)\right]}{2}$$

$$|Z_{eq}| = \frac{R}{2} + \frac{Rac}{\sqrt{4 + 2\,Rac\,(\omega C - \frac{1}{\omega L})^2}}$$

محاسبه امپدانس مدار معادل چوک مد مشترک

انتخاب چوک مد مشترک CMC

در انتخاب یک چوک یا فیلتر مد مشترک باید برخی از محدودیت ها را در نظر گرفت. در ادامه موارد مهم در انتخاب

یک فیلتر مد مشترک بیان شده است.

تضعیف مور نیاز

رایج ترین روش جهت اندازه گیری میزان تضعیف فیلتر مد مشترک، اندازه گیری امپدانس آن است. یک راه دیگر اندازه گیری اندوکتانس بوده و اغلب برای مشخص کردن خطوط سیگنال چوک های CMC کاربرد دارد. با این وجود بطور یک قاعده کلی باید فیلتر مد مشترک را با بیشترین تضعیف انتخاب کرد و به معنی بزرگ شدن ابعاد آن است. از همین جهت باعث افزایش هزینه و اشغال فضای بیشتری برروی برد خواهد شد.

جریان مورد نیاز

بدلیل عدم اشباع هسته، مقدار جریان فیلتر مد مشترک بر اساس افزایش دما ذکر می‌شود. لذا باید فیلتری انتخاب شود که مقدار جریان آن بیشتر از جریان مورد نیاز باشد. انتخاب این فیلتر برای خطوط سیگنال باید به گونه ای باشد که یکپارچگی و کیفیت سیگنال را تحت تاثیر قرار ندهد. در پروتکل های ارتباطی مانند CANFD، CAN و Ethernet باید فیلتر به گونه ای انتخاب شود که تطبیق امپدانس بین چوک و کانال انتقال صورت گیرد.

سایر موارد

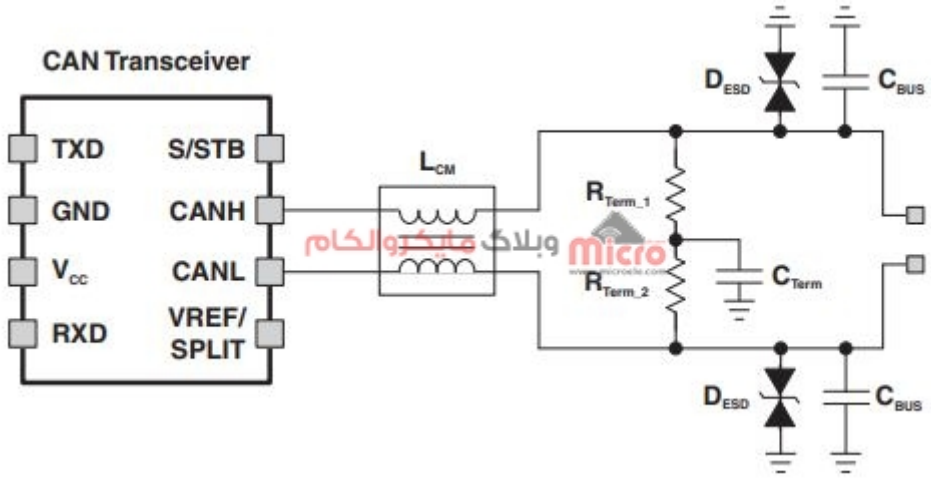
علاوه بر دو مورد قبل، موارد دیگری نظیر محدوده فرکانس مناسب، مقاومت DC کم (جهت محدود کردن تلفات مس)، ولتاژ عملکرد بالاتر و ظرفیت خازنی داخلی سیم پیچ پایین نیز در انتخاب یک فیلتر مد مشترک می‌توانند موثر باشند.

کاربرد فیلتر مد مشترک

خودرو

همانطور که قسمت های مختلفی در وسیله نقلیه وجود دارد باید این اجزا علاوه بر عملکرد خود، با سایر قسمت های دیگر نیز گاها ارتباط داشته باشند و اطلاعات خود را به اشتراک گذارند. همانطور که در مطلب قبلی بیان شد، بستر ارتباطی این موارد CAN می‌باشد. در این بستر از یک زوج سیم برای تبادل دیتا استفاده می‌شود. از آنجا که هر قسمت در معرض نویز EMI می‌باشد باید طوری طراحی شود که دارای EMC مطلوب بوده و نویز برروی آن تاثیر نگذارد تا سیستم عملکرد مطمئنی داشته باشد. علاوه بر سایر روش ها و فیلتر ها، فیلتر مد مشترک CMC یکی از قطعاتی است که در جلوگیری از تاثیر نویز در شبکه CAN استفاده می‌شود.

فیلتر مد مشترک می‌تواند بین خطوط (High و Low) گیرنده/فرستنده CAN قرار گرفته و از نفوذ و تاثیر نویز مد مشترک برروی اتصالات شبکه جلوگیری به عمل آورد. به تعبیری دیگر، در درگاه های ارتباطی تفاضلی یا دیفرانسیلی همانند CAN از فیلتر مد مشترک برای فیلتر کردن سیگنال پیش از ارسال به بخش دیگر استفاده می‌شود. CMC در اتصال قطعات دیگر مثلا خازن بای پاس و دیود TVS نیز می‌تواند قرار گیرد تا حفاظت بیشتری به ارمغان آورد.



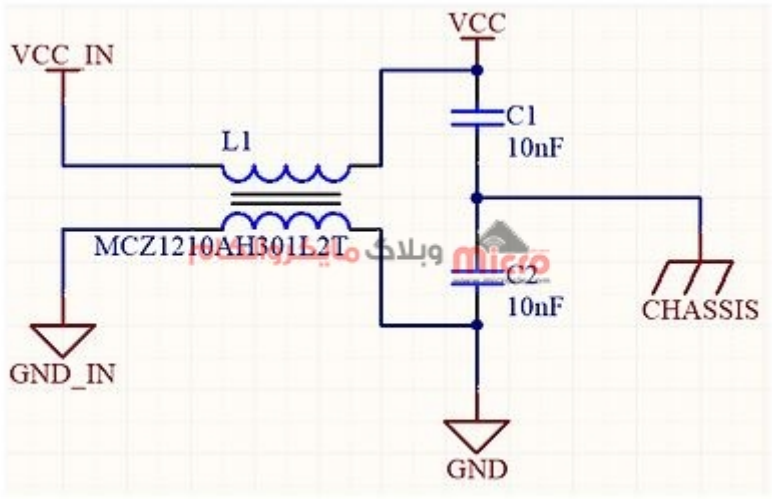
استفاده از فیلتر مد مشترک *CMC* در شبکه *CAN*

ولتاژ گذرای ناخواسته

ولتاژ گذرای بالایی ایجادی توسط CMC که البته غیر منتظره نیز می‌باشد یکی از مواردی است که هنگام استفاده از فیلتر مد مشترک در این مثال باید به آن دقت کرد. هنگامی که گیرنده/فرستنده CAN شبکه را بین حالت فرستنده و گیرنده یا بالعکس تغییر می‌دهد، در مدت خیلی کوتاهی مسیر شبکه به یک ولتاژ DC متصل می‌شود که باعث بروز اسپایک یا افزایش ولتاژ بصورت ناخواسته می‌شود که در صورت عدم مدیریت صحیح می‌تواند منجر به آسیب به گیرنده/فرستنده شود. برای کاهش اثر آن می‌توان از سرکوب کننده ولتاژ ESD با دیود TVS یا وریستور MOV استفاده کرد.

استفاده از فیلتر مد مشترک در ورودی تغذیه

از فیلتر مد مشترک عموما به عنوان فیلتر برروی مسیر ورودی تغذیخه ورودی استفاده می‌شود. در این موارد فیتلر مد مشترک نویزی که از منابع تغذیه خارجی وارد می‌شوند را حذف و از ورود آن به سیستم جلوگیری به عمل می‌آورد. در تصویر زیر نمونه استفاده این فیلتر برای تغذیه DC نمایش داده شده است.



استفاده از فیلتر مد مشترک *CMC* در تغذیه ورودی سیستم

نتیجه گیری

در دستگاه های تخصصی و مورد نیاز اخذ مجوز و گواهینامه هایی مانند CE باید تست های EMC را با موفقیت پشت سر گذارند. فیلتر مد مشترک یا CMC (چوک مد مشترک) برای حذف نویز مد مشترک به کار گرفته می‌شود. با استفاده از این فیلتر مشکل استفاده از دو سلف جداگانه برای مسیر ورودی برطرف می‌شود. از این قطعه در ورودی تغذیه یا مسیر های دیتا مانند Ethernet و CAN نیز استفاده می‌شود.

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 فید 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.