

باسمه تعالی



پروژه درس تئوری مدارهای الکتریکی

مدار حذف نویز ۵۰ هرتز

دانشکده مهندسی برق

دانشگاه صنعتی شریف

آذر ۱۴۰۳

مقدمه :

در سیستم‌های الکترونیکی و پردازش سیگنال، نویزهای محیطی می‌توانند کیفیت سیگنال‌های مورد نظر را کاهش دهند. یکی از رایج‌ترین نویزهای موجود در سیستم‌های الکتریکی، نویز ناشی از فرکانس شبکه برق است که بسته به منطقه جغرافیایی، فرکانسی برابر با ۵۰ هرتز یا ۶۰ هرتز دارد. این نویز، که به آن نویز خط برق یا نویز هارمونیک اصلی نیز گفته می‌شود، به طور معمول از طریق القای الکترومغناطیسی وارد سیستم می‌شود و می‌تواند تأثیرات منفی بر سیگنال‌های ضعیف، مانند سیگنال‌های بیولوژیکی (مانند EEG و EMG) و یا حسگرهای حساس در مدارهای کنترلی داشته باشد.

• فاز اول پروژه:

یکی از روش‌های موثر برای حذف این نویز، استفاده از فیلتر ناچ (Notch Filter) است که به طور خاص برای حذف فرکانس‌های مشخص بدون تأثیر بر سایر بخش‌های سیگنال طراحی شده است. در این فاز، هدف این است که با بررسی مدار یک فیلتر ناچ طراحی شده برای حذف نویز ۶۰ هرتز، تغییراتی در طراحی مدار اعمال شود تا این فیلتر برای حذف نویز ۵۰ هرتز مناسب باشد.

• فاز دوم پروژه:

پس از اینکه مدار مربوطه را برای حذف نویز ۵۰ هرتز بازطراحی کردید، بایستی به شیوه Monte Carlo آنرا تحلیل کنید و تأثیر تolerانس هر المان را بر رفتار مدار بررسی کنید. این کار به شما نشان خواهد داد که تolerانس المان‌ها چه تأثیری بر رفتار مدار خواهد شد.

• فاز سوم پروژه:

در این فاز پس از انجام تحلیل‌های مربوطه بایستی مدار بازطراحی شده را در آزمایشگاه پیاده سازی کنید و نتیجه ای که از شما خواسته شده است را بدست آورید.

❖ گزارش بایستی شامل شامل توضیحات هر بخش، تصاویر شبیه سازی و نتایج کد متلب باشد. در زیر هر تصویر توضیحات مربوط به آن نوشته شود.

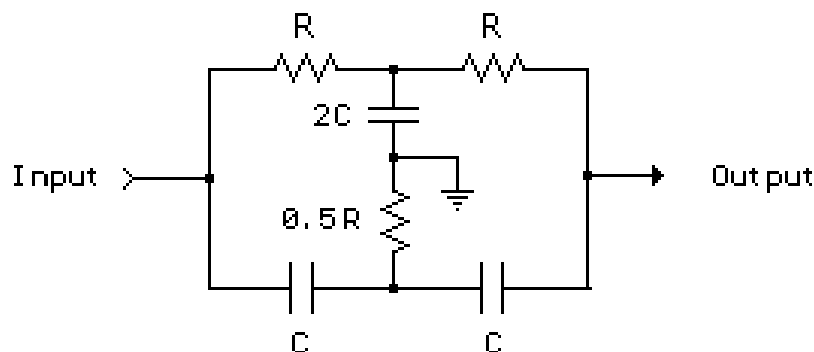
❖ کد شما بایستی کامنت گذاری شده باشد. علاوه بر این کد بایستی اجرا شود و نتایج با گزارش همخوانی داشته باشند. در غیر این صورت نمره ای به شما برای این بخش تعلق نمیگیرد.

❖ تمامی فایل‌های مربوطه خود را اعم از گزارش، شبیه سازی و کد متلب خود را به صورت یک فایل فشرده zip یا rar با نام TECProj_FullName_StudentNumber در سامانه آپلود کنید.

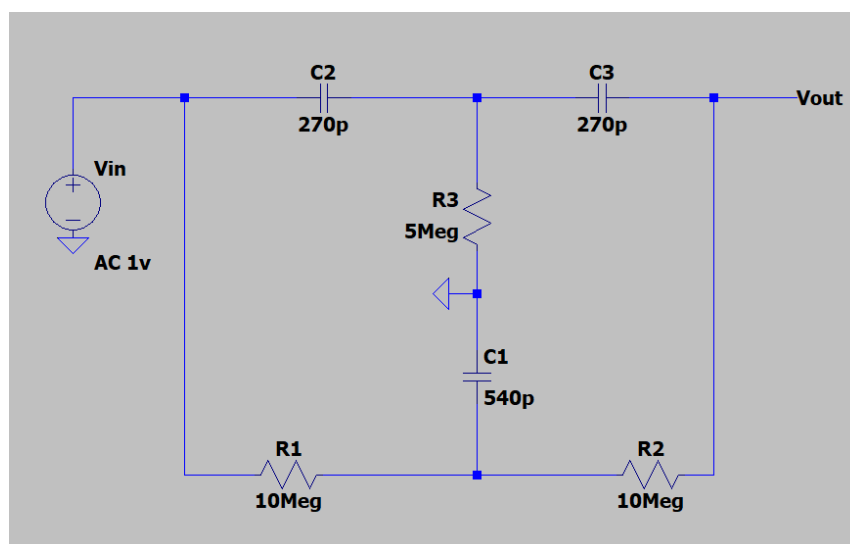
❖ در صورت وجود ابهام در هر بخش، می‌توانید در گروه تلگرامی درس سوالات خود را مطرح کنید و یا اینکه به آیدی تلگرام @Mohsen_Sh9 پیام دهید.

فاز اول :

در شکل ۱ یک فیلتر ناچ (Twin-T) را مشاهده میکند. در شکل ۲ این فیلتر برای حذف نویز ۶۰ هرتز طراحی شده است.



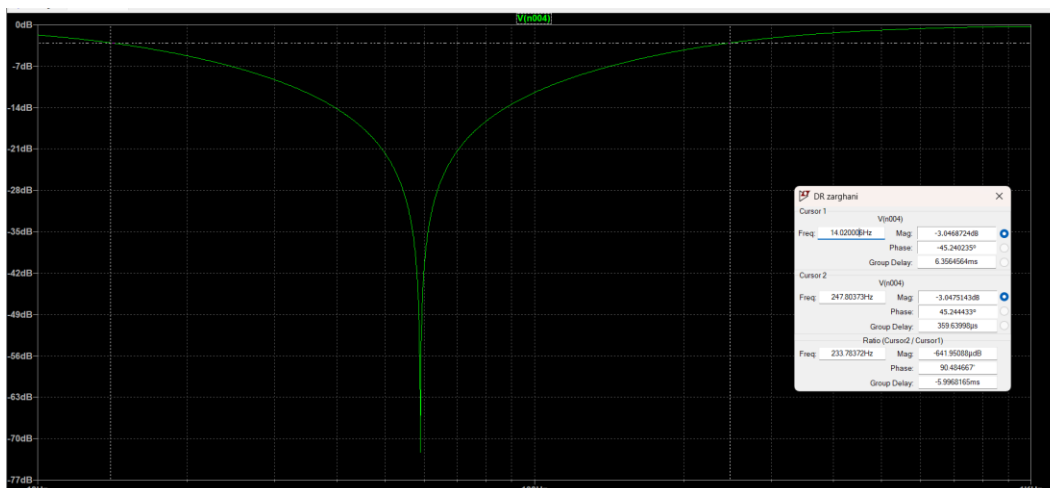
شکل ۱



شکل ۲

در شکل ۳ پاسخ فرکانسی مربوط به این فیلتر نمایش داده شده است. همانطور که در شکل میبینید این فیلتر در فرکانس نزدیک به 60 (Hz) دارای بهره -70dB است و پهنای باند -3dB آن حدود 233 (Hz) میباشد. این پهنای باند بسیار زیاد است زیرا باعث میشود فرکانس های کمتر و بیشتر از 60 هرتز نیز بسیار تضعیف شوند و بخش مهمی از سیگنال ما از دست برود.

پس برای کاهش پهنای باند -3dB این مدار را تغییراتی میدهیم.

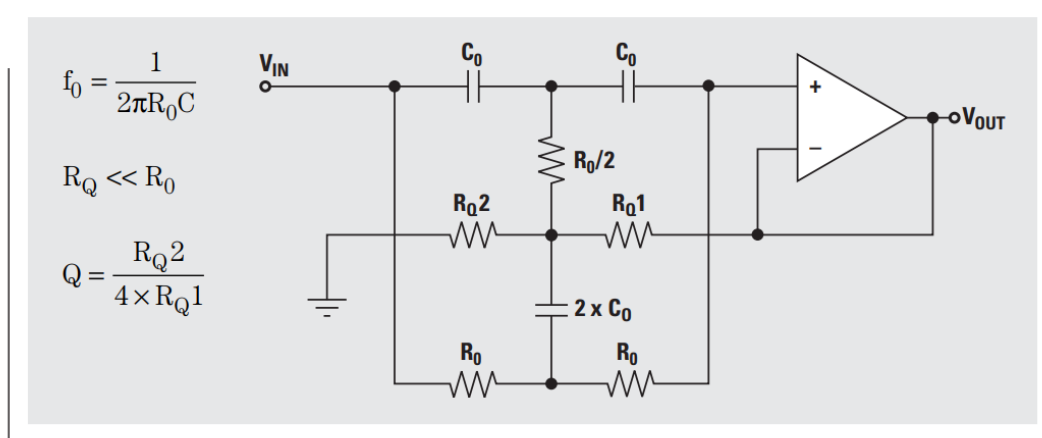


شکل ۳

در شکل ۴ یک فیلتر ناچ (Twin-T Notch Filter) با قابلیت تنظیم Q را مشاهده میکنید.

در این لینک زیر میتوانید درباره این فیلتر مطالعه کنید :

<https://www.ti.com/lit/an/slyt235/slyt235.pdf?ts=1734202629270>



شکل ۴

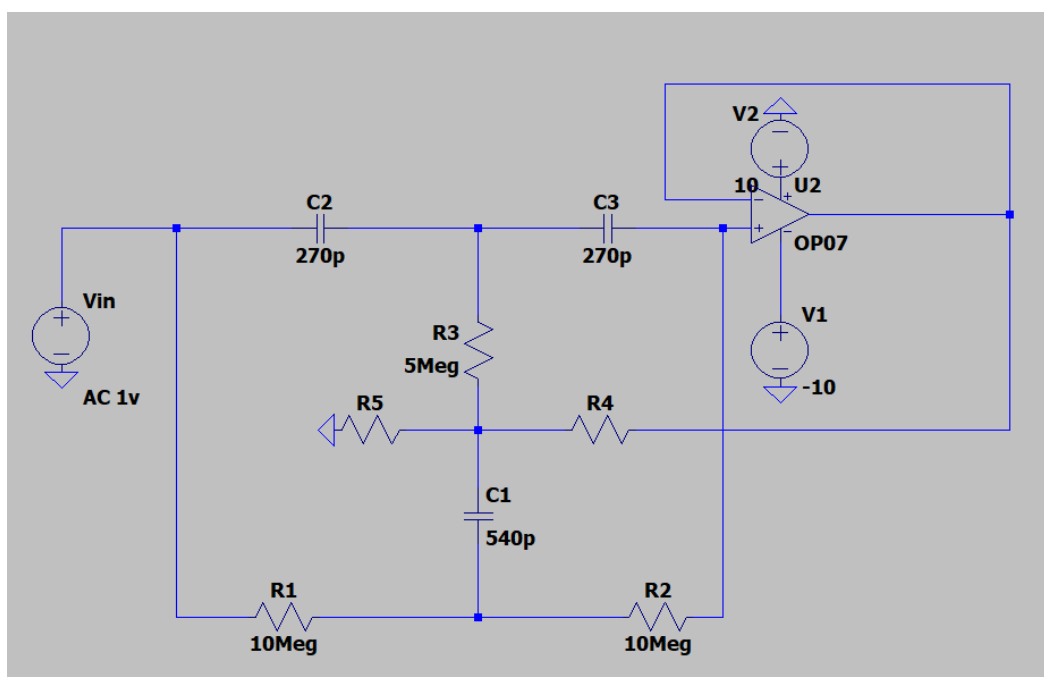
همانطور که در شکل ۴ مشاهده میکند در این مدار به فیلتر شکل ۱ یک فیدبک از ولتاژ خروجی به گره بین مقاومت $R_0/2$ و $2 \times C_0$ اضافه شده است.

مقاومت های R_{Q2} و R_{Q1} برای تنظیم Q استفاده میشوند.

رابطه فرکانس عمق ناچ به شکل زیر است :

$$f_o = \frac{1}{2\pi R_0 C}$$

در شکل ۵ مقادیر المان ها برای $f_o \cong 60(Hz)$ نمایش داده شده است.



شکل ۵

همانطور که میبینید مقادیر مقاومت های فیدبک (R_4, R_5) نمایش داده نشده است زیرا این مقاومت ها بسته به اینکه مقدار Q چقدر باشد میتوانند تعیین شوند.

$$Q = \frac{R_5}{4R_4} \text{ رابطه } Q \text{ به صورت روبرو است}$$

بخش اول:

- ۱) افزایش یا کاهش Q بر روی این مدار چه تاثیری دارد؟
- ۲) مقادیر این مدار را به گونه ای انتخاب کنید که فرکانس $f_o = 50(Hz)$ شود. (مقادیر مقاومت ها را بیش از $1(M\Omega)$ انتخاب نکنید)
- ۳) حال سعی کنید برای $Q = 1$ آنرا شبیه سازی کنید و نتیج شبیه سازی و پهنای باند -3dB آنرا بدست آورید.
- ۴) سعی کنید با افزایش و کاهش Q رفتار مدار را در شبیه سازی بررسی کنید.
- ۵) فرکانس برق شهر در ایران در حدود 49.8 تا 50.2 نوسان میکند. در صورت افزایش بیش از اندازه Q در دنیای واقعی با چه مشکلی روبرو میشویم؟
- ۶) آیا میتوانید آپ امپ بهتری برای استفاده در این مدار معرفی کنید؟ (دلایل انتخاب آپ امپی که معرفی میکنید را به صورت خلاصه ذکر کنید)

بخش دوم:

با توجه به یافته های بخش قبل المان های مدار را با توجه به شروط زیر تعیین کنید.

$$BW_{-3dB} < 10(Hz) \quad f_o = 50(Hz) \quad Gain(f = f_o) < -40(dB)$$

مدار طراحی شده را شبیه سازی کنید و نتایج را گزارش کنید. (مقادیر مقاومت ها را بیش از $1(M\Omega)$ انتخاب نکنید)

فاز دوم :

بخش اول:

۱) سعی کنید تابع تبدیل مدار را به صورت پارامتری بر حسب مقاومت ها و خازن های مدار بدست آورید. میتوانید معادلات این مدار را به صورت پارامتری بنویسید و به وسیله متلب تابع تبدیل را بدست آورید و کد مربوطه را گزارش کنید. (دقت کنید برای سادگی فقط میتوانید مقادیر مقاومت های R_4 و R_5 را تعیین کنید و تابع تبدیل را به صورت پارامتری بر حسب مابقی المان ها بدست آورید)

۲) در این بخش سعی کنید کد متلبی بنویسید که این تابع تبدیل را بر حسب مقاومت ها و خازن های انتخاب شده در فاز قبل رسم کند. نتایج را گزارش کنید.

بخش دوم:

شرح تحلیل مونت کارلو در مدارات الکترونیکی:

تحلیل مونته کارلو یک روش آماری برای ارزیابی عملکرد مدارها در شرایط مختلف است که بر شبیه سازی تصادفی متغیرهای طراحی و پارامترهای مدار تکیه دارد. این روش در طراحی و تحلیل مدارها به ویژه زمانی که عدم قطعیت هایی در مقادیر المان های مدار وجود دارد، بسیار مفید است.

کاربردهای تحلیل مونته کارلو در مدارهای الکترونیکی

۱. تحلیل حساسیت مدار

○ در دنیای واقعی، مقادیر المان های مدار (مانند مقاومت ها، خازن ها و ترانزیستورها) به دلیل تolerانس های ساخت دچار تغییراتی می شوند.

○ تحلیل مونته کارلو تأثیر این تغییرات را روی عملکرد کلی مدار (مانند بهره، فرکانس قطع، یا نویز) ارزیابی می کند.

۲. پیش‌بینی عملکرد مدار در شرایط واقعی

- به کمک این روش می‌توان رفتار مدار را تحت تغییرات تصادفی در پارامترها پیش‌بینی کرد و مشخص کرد که آیا مدار در محدوده طراحی شده کار خواهد کرد یا خیر.

۳. بهینه‌سازی طراحی مدار

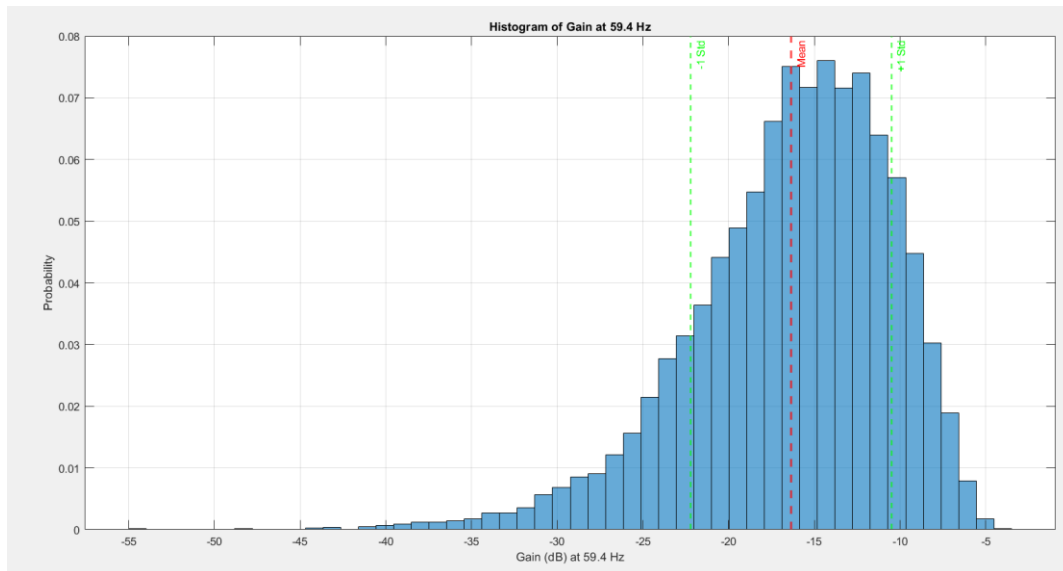
- این تحلیل می‌تواند نقاط ضعف طراحی را آشکار کرده و امکان بهبود مدار از نظر پایداری و قابلیت اطمینان را فراهم کند.

انجام تحلیل مونته کارلو:

- در بخش قبل تابع تبدیل مدار را در کد متلب مشخص کردید و برای هر المان مقدار مشخصی را انتخاب نمودید. حال بایستی مقدار المان را به گونه ای تعریف کنید که دارای یک میانگین و یک تفرانس مشخص باشد (توزیع نرمال). (مقادیر مقاومت های R4 و R5 را ثابت در نظر بگیرید)
- حال بایستی یک توزیع نرمال برای شبیه سازی مقادیر تصادفی مقاومت ها و خازن ها استفاده کنید. از تابع normrnd برای این کار کمک بگیرید.
- تابع تبدیل مدار را به کمک تحلیل فرکانسی و پارامترهای تصادفی به صورت یک رابطه بین صورت و مخرج تابع تبدیل بنویسید. دقت کنید که در این مرحله، مقادیر تصادفی تولید شده به جای مقادیر ثابت در رابطه قرار داده شوند.
- به تعداد 10000 بار این تابع تبدیل را برای مقادیر تصادفی المان ها شبیه سازی و محاسبه کنید. دقت کنید بازه فرکانسی را بین 10 تا 100 هرتز در نظر بگیرید.
- میانگین، چارک اول و چارک سوم پاسخ فرکانسی های بدست آمده را رسم کنید.
- حال در فرکانس f_0 بدست آمده در فاز قبل هیستوگرام توضیح بهره را رسم کنید. دقت کنید چون فرکانس در ماتریس بدست آمده به صورت نقاط مجزا است بایستی در نزدیک ترین فرکانس به f_0 این هیستوگرام را رسم کنید. در هیستوگرام خط میانگین، +std و -std را رسم کنید. این کار را میتوانید به وسیله تابع std انجام دهید و سپس دو خط در mean + std و mean - std رسم کنید.

- `xline(mean_gain, '--r', 'LineWidth', 2, 'Label', 'Mean');`
- `xline(mean_gain + std_gain, '--g', 'LineWidth', 1.5, 'Label', '+1 Std');`
- `xline(mean_gain - std_gain, '--g', 'LineWidth', 1.5, 'Label', '-1 Std');`

مثال : در شکل ۶ نمونه ای از هیستوگرام بدست آمده نشان داده شده است.



شکل ۶

شکل ۶ مربوط به یک فیلتر 60 هرتز است. این هیستوگرام به ازای تفرانس ۲ درصد برای تمام المان ها رسم شده است. همانطور که مبینید به صورت میانگین در فرکانس 59.4 هرتز بهره 16dB- میباشد.

■ حال بایستی به ازای تفرانس ۵ درصد تاثیر هر المان را به صورت جداگانه نشان دهید و گزارش کنید.

■ اکنون با توجه به نتایج بدست آمده سعی کنید یک بیشینه تفرانس منطقی برای هر المان تعیین کنید که شروط زیر برآورده شود. راهنمایی : ممکن است مجبور شوید Q را تغییر دهید تا برخی از شروط برآورده شوند. مقادیر جدید R4 و R3 را در ادامه پروژه استفاده کنید.

$$BW_{-3dB} < 25(Hz) \quad f_o = 50(Hz) \quad P(Gain \text{ at } 50 \text{ Hz} < -20dB) > 0.9$$

■ هیستوگرام نهایی مدار به ازای ماکسیمم تفرانس های تعیین شده را نشان دهید. احتمال تضعیف کمتر از 20(dB) را میتوانید از محاسبه دستی مساحت زیر نمودار هیستوگرام بدست آورید.

■ آیا میتوانید به ازای تفرانس 2% برای تمام المان ها با احتمال بیش از 90% تضعیف بیش از 20dB و پهنای باند 15(Hz) داشته باشید؟ (اگر جواب خیر است علت محدود شدن را بیان کنید)

فاز سوم :

در این مرحله باید مدار طراحی شده پیاده سازی شود.

نکته : مقادیری که برای مقاومت ها و خازن ها تعیین کردید ممکن است در دنیای واقعی و بازار به راحتی بدست نیاید. پس میتوانید از روش های مختلف مانند موازی یا سری کردن خازن ها و مقاومت ها به مقادیر مورد نظر برسید.

- بطور مثال اگر شما به یک مقاومت $1.3\text{ (K}\Omega\text{)}$ نیاز دارید میتوانید یک مقاومت $1.2\text{ (K}\Omega\text{)}$ و یک مقاومت $100\text{ (}\Omega\text{)}$ را با هم سری کنید.

- البته میتوانید این مقدار را از موازی کردن دو مقاومت بدست آورید.

- این دو عمل میتوانند باعث کاهش تolerانس نیز بشوند. فرض کنید دو مقاومت $1\text{ (K}\Omega\text{)}$ با تolerانس 10% را بایکدیگر موازی کرده اید. اگر یکی از مقاومت ها مقدار واقعی آن $1.1\text{ (K}\Omega\text{)}$ و دیگری $0.9\text{ (K}\Omega\text{)}$ باشد در واقع یک مقاومت 495 اهمی خواهیم داشت. اما اگر یک مقاومت 500 اهمی با تolerانس 10% استفاده میکردیم این مقاومت بین 450 تا 550 اهم بود. البته اگر هر دو مقاومت $0.9\text{ (K}\Omega\text{)}$ و یا هر دو $1.1\text{ (K}\Omega\text{)}$ باشند دوباره شرایط مثل قبل است اما باید در نظر بگیریم که احتمال اینکه دو مقاومت در بدترین شرایط خود باشند بسیار کمتر از این است که یک مقاومت در بدترین شرایط خود باشد. در این حالت حساسیت مدار ما نسبت به تغییرات نیز مقاوم تر میشود. (Robust Circuit)

دقت کنید که هرچقدر بتوانید به مقادیر تئوری که در بخش قبل تعیین کردید نزدیک تر شوید، مدار شما بهتر کار خواهد کرد.

توجه : حداکثر میتوانید از یک پتانسیومتر استفاده کنید.

در بخش عملی پروژه باید دقت کنید که شرایط زیر برآورده شود.

$$BW_{-3dB} < 25\text{ (Hz)} \quad f_o = 50\text{ (Hz)} \quad Gain(f = f_o) < -20\text{ (dB)}$$

- دقت کنید که این بخش بایستی بر PCB اجرا شود. دقت کنید که اگر یک مقاومت را از ترکیب سری – موازی دو یا چند مقاومت بدست می آورید، بایستی این موارد را در PCB نیز طرح کنید.
- در صورت نداشتن PCB تنها نیمی از نمره این بخش را دریافت خواهید کرد. (نمره PCB یک چهارم نمره کل پروژه است)
- برای طراحی PCB میتوانید از برنامه های مختلفی مانند Altium Designer و یا proteus استفاده کنید.
- دقت کنید هزینه PCB با ابعاد و تعداد لایه های آن رابطه مستقیم دارد. سعی کنید برای کاهش هزینه، با ابعاد مناسب به صورت تک لایه و یا نهایتاً دولایه طراحی را انجام دهید.

موفق و پیروز باشید.