



دانشگاه تهران

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

Instrument & Bio medical engineering

CA2

Parsa Darban

810100141

بخش اول (تقویت کننده ECG)

هدف در این بخش ساخت تقویت کننده برای تقویت کردن سیگنال گرفته شده از قلب است. همانطور که میدانیم سیگنال قلب دارای دامنه کم (نزدیک 0.5 mV) است. علاوه بر آن نویزهایی حاصل از تماس الکترودها با پوست، نویز برق شهر و ... بر روی سیگنال قلب افتاده. به همین دلیل پزشکان نمیتوانند مراحل ضربان قلب که مطابق شکل زیر است را به درستی تشخیص دهند. پس نیاز به یک مدار تقویت کننده ای داریم که شامل فیلتر (برای حذف نویزها) و تقویت کننده با ویژگی های خاص باشد.

در اینجا به طراحی تقویت کننده با ویژگی های مورد نیاز که در هر بخش توضیح داده میشود میپردازیم.

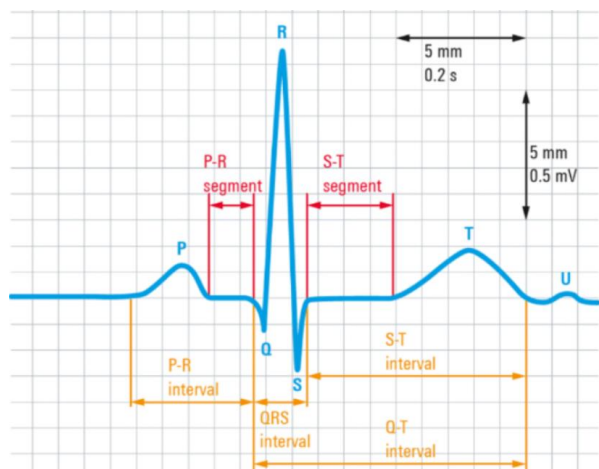


Figure 1.1 (ECG)

طبقه اول

در ابتدا تقویت کننده ما نیاز دارد امپدانس ورودی بالایی داشته باشد. در غیر اینصورت بارگذاری سیگنال افزایش میابد و سیگنال گرفته شده اعوجاج دار خواهد شد.

برای اینکه تقویت کننده ما دارای همچنین خاصیتی باشد از یک بافر برای آن استفاده میکنیم. این مدار دارای مقاومت ورودی بالایی است و باعث میشود که ولتاژ ورودی با ولتاژ خروجی برابر باشد و از جریان ورودی کاملاً مستقل.

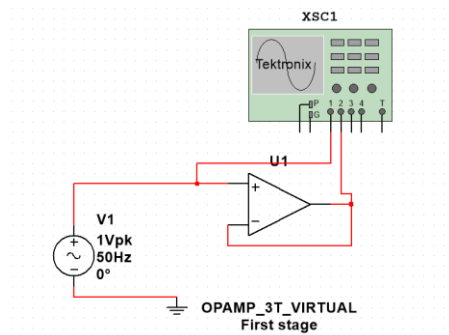


Figure 1.2(Buffer (first Stage))

در اینجا از آپ امپ جنرال استفاده شده و مهمترین نکته آن این است که فرکانسی که باید آپ امپ ما عبور دهد بیشتر از فرکانسی باشد که منبع ولتاژ ما دارد.

نتیجه به صورت زیر است که نشان میدهد بافر ما به درستی کار میکند.

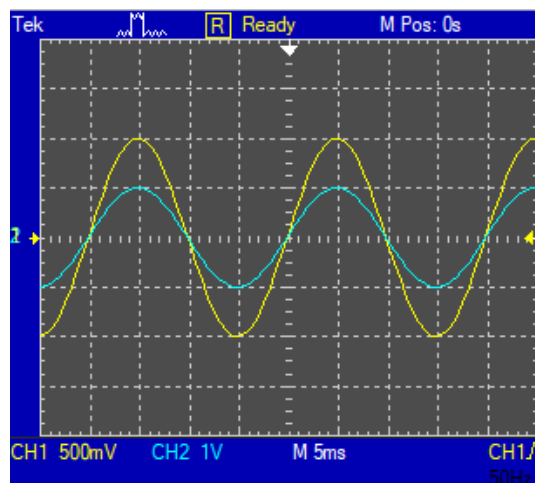


Figure 1.3(input and output of buffer)

* در نمودار بالا سیگنال زرد رنگ ورودی و سیگنال آبی خروجی است و برای آنکه این دو بر روی هم نیفتد، مقیاس آن را متفاوت در نظر گرفتیم.

طبقه دوم

در اینجا باید از فیلتر میان گذر استفاده کنیم زیرا میخواهیم نویز برق شهر را از بین ببریم. این فیلتر باعث تضعیف سیگنال ECG نیز میشود و طبیعتاً سیگنال خروجی تفاوت هایی با ورودی دارد.

در اینجا هم فیلتر میان گذر و هم فیلتر notch را مورد بررسی قرار میدهیم.

فیلتر میان گذر با مدار RC

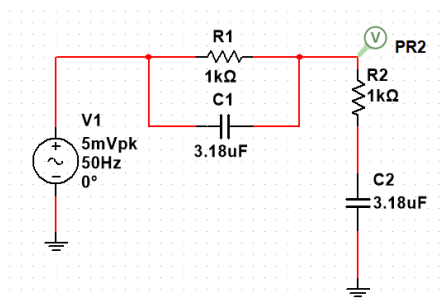


Figure 1.4(RC Band-stop Filter)

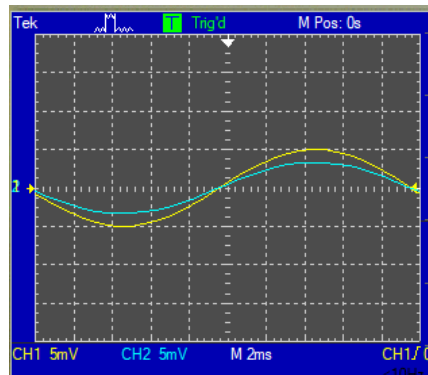


Figure 1.5(output of RC Band stop filter)

حال فیلتر notch را بررسی میکنیم.

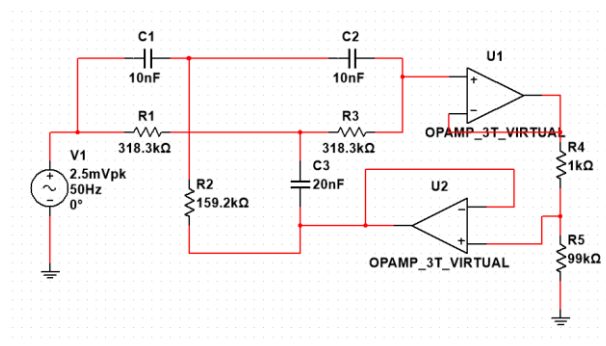


Figure 1.6(Notch filter)

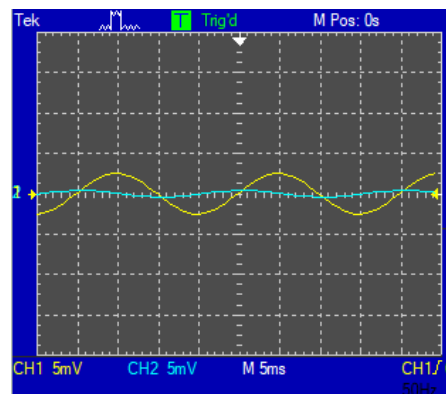


Figure 1.7(output of Notch filter)

همانطور که میبینم ، تضعیف فرکانس ۵۰Hz در فیلتر notch بهتر است.

همچنین با مشاهده پاسخ فرکانسی آن میتوانیم پی ببریم که باز هم فیلتر notch عملکرد بهتری دارد.

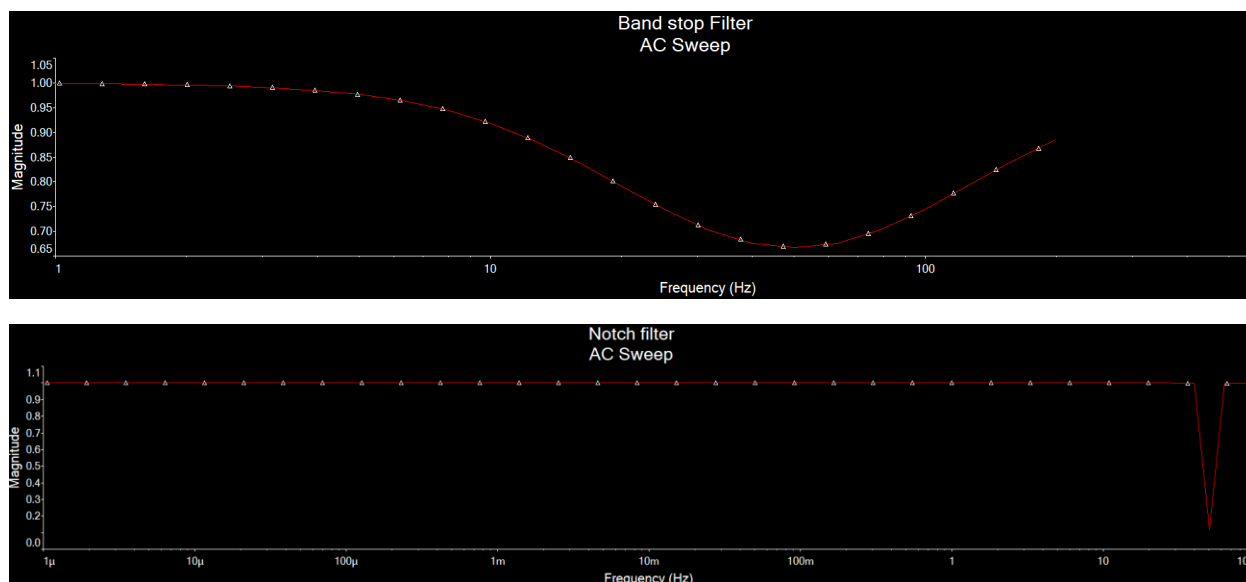


Figure 1.8(Frequency response of Band stop filter)

همانطور که مشاهده میشود فیلتر notch دارای عملکرد بهتری در فرکانس مرکزی که میخواهیم عبور نکند، دارد.

در فیلتر notch عوامل زیادی ما Q factor و K اثر دارد. در اینجا Q factor ما ثابت است و با تغییر K پهنای باندی را که میخواهیم عبور کند را تنظیم میکند. هرچه مقدار آن بیشتر، پهنای باند عبوری نیز کم میشود.

طبقه سوم

در این طبقه از یک فیلتر بندپس برای دریافت سیگنال نهایی استفاده میکنیم.

همانطور که میدانیم فیلترهای ما ایده آل نیستند و با اینکه در محاسبات از فرکانس قطع پایین (0.1 Hz) و فرکانس قطع بالای (100 Hz) استفاده کردیم اما فیلترها میتوانند تا مقدار بیشتری از فرکانس داده شده را عبور دهند.

در اینجا از سه فیلتر برای اینکه نتیجه دقیقی را به دست بیاوریم استفاده میکنیم که مدار آنها مطابق شکل زیر است.

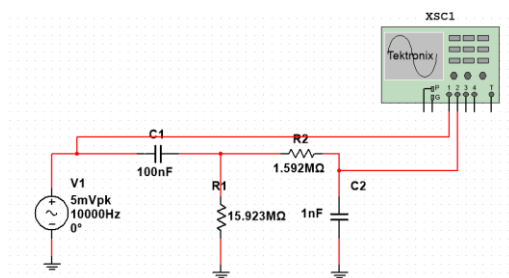


Figure 1.9(Passive Bandpass filter)

این فیلتر برای کارایی ما مناسب نیست. زیرا ما میتوانیم فیلتری را با آپ امپ استفاده کنیم که علاوه بر خاصیت گذردهی فرکانس قابلیت افزایش ولتاژ خروجی را نیز داشته باشد.

به همین علت از این فیلتر صرف نظر کرده و سراغ دو فیلتر دیگر میرویم.

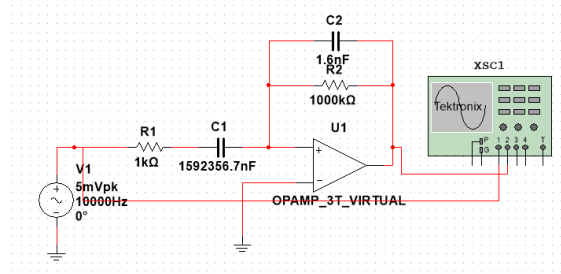


Figure 1.10(Active inverting Op Amp bandpass filter)

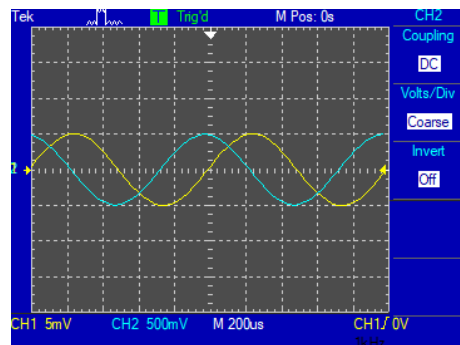


Figure 1.11(output signal for high frequency(1KHZ))

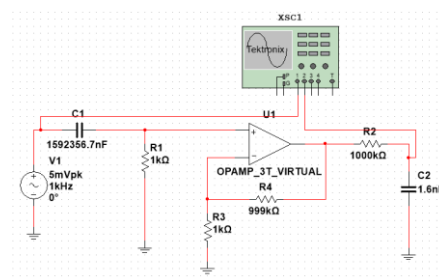


Figure 1.12(Active noninverting Op Amp bandpass filter)

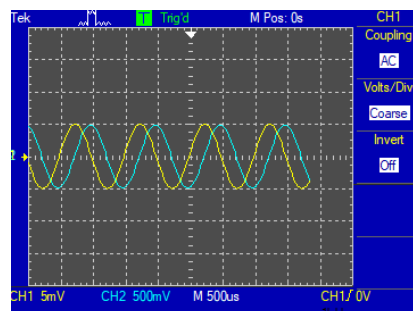


Figure 1.13(output for high frequency(1KHz))

همانطور که مشاهده میشود هر دوی آنها در فرکانس بالا نه تنها گین دلخواه را نمیدهد بلکه دارای شیفته فازی نیز هست.

اما در فرکانس مشخص شده مدار اول سیگنال را معکوس میکند اما مدار دوم این کار را انجام نمیدهد. پس بهتر است از مدار دوم استفاده کنیم.

کار دیگر این است که با فیلتری که با المان های پسیو ساخته شده ، مدار را طراحی کنیم و بعد از آن از تقویت کننده دیگری استفاده کنیم . اما مشکل آن بازه فرکانسی است که در مقایسه با دو فیلتر طراحی شده با آپ امپ خیلی بیشتر است.

در شکل های زیر پاسخ فرکانسی آن ها را نمایش میدهیم:

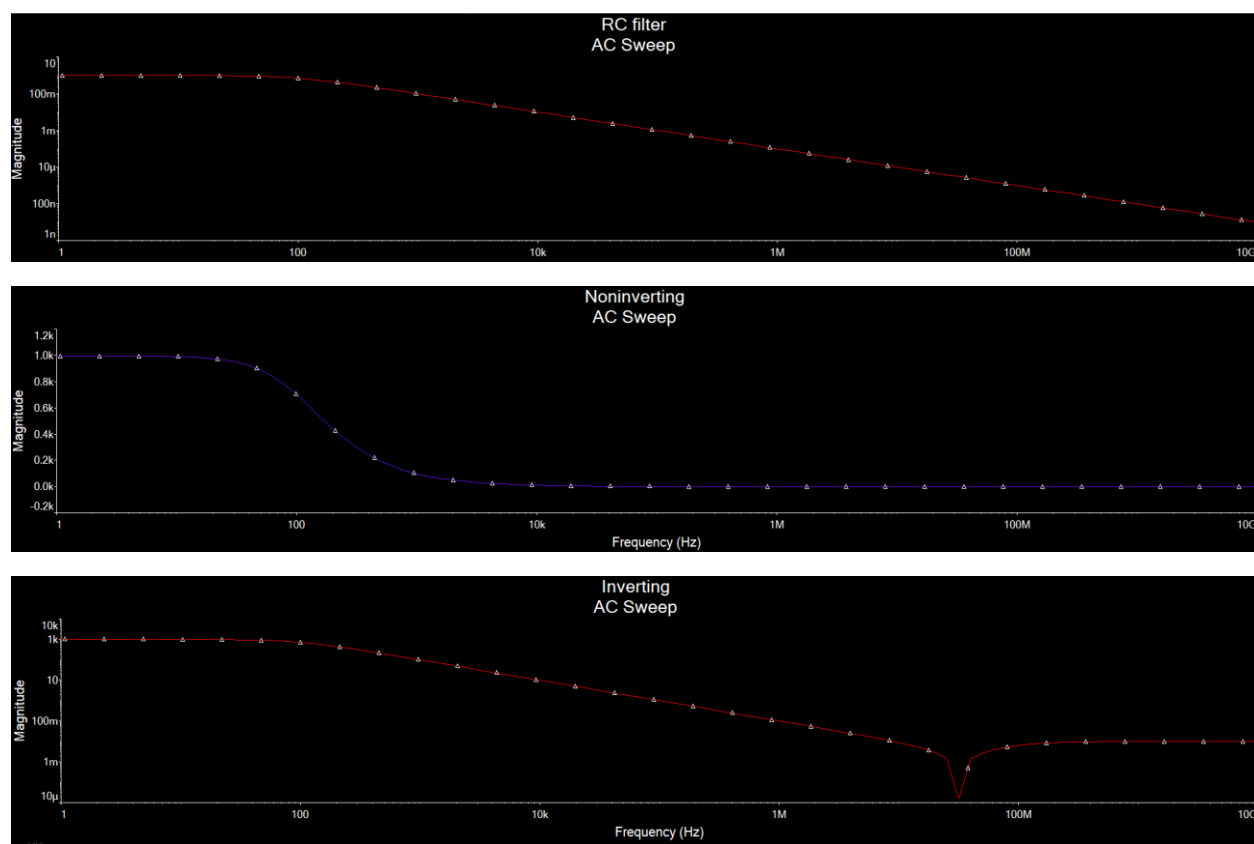


Figure 1.14(filter frequency response)

با توجه به پاسخ فرکانسی های بالا از فیلتر (Active inverting Op Amp bandpass filter) استفاده میکنیم. زیرا هم باعث تقویت به نظر معقولی نسبت به noninverting میشود و در بازه فرکانسی دلخواه عملکرد بهتری دارد. پس طبقه سوم نیز ساخته شد.

طبقه چهارم

از یک بافر معکوس کننده با گین یک استفاده میکنیم.

حال به ترکیب کردن آن ها و ساخت تقویت کننده برای سیگنال ECG میپردازیم.

مدار اولیه آن به شکل زیر است:

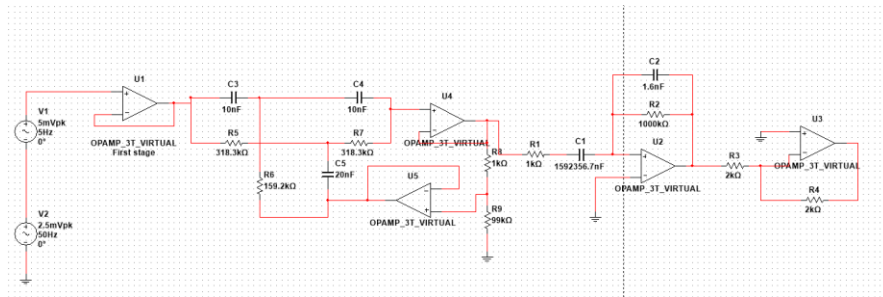


Figure 1.15(ECG Amplifier)

*در شکل بالا نویز با فرکانس ۱MHz اضافه نشده است تا سیگنال خروجی را به خوبی ببینیم. زیرا در فرکانس بالا نمیتوان سیگنال خروجی را مشاهده کرد.(با تی ای صحبت شده و برای ۱MHz از پاسخ فرکانسی مدار استفاده میکنیم).

نتیجه خروجی مدار بالا به شکل زیر است.

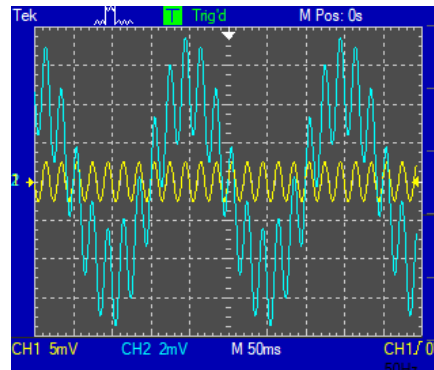


Figure 1.16(input signal)

سیگنال ورودی در اینجا با رنگ آبی مشخص شده و سیگنال زرد ، برای ولتاژ با فرکانس ۵۰Hz است.

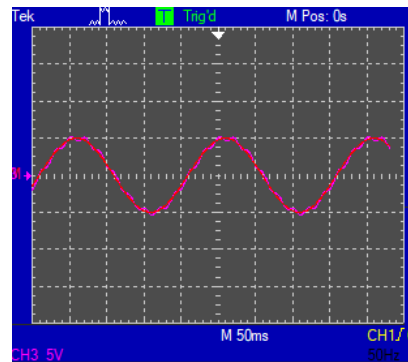


Figure 1.17(output signal)

نمودار بالا برای سیگنال خروجی مدار است. رنگ قرمز (زیر سیگنال بنفش قرار دارد) حاصل اختلاف دو سیگنال رسم شده در مدار ۱.۱۵ است که بتوانیم سیگنال 5Hz را مشاهده کنیم و به هدف خود برسیم.

زیرا ما میخواستیم برق شهر را که دارای فرکانس 50Hz است را تا جای ممکن تضعیف کنیم و نمودار خروجی نشان میدهد که این اتفاق افتاده است.

همچنین مقیاس خروجی برابر با 5V و مقیاس اختلاف سیگنال های ورودی 5mV است و با توجه به مقدار های مقاومت آن ، گین آن هزار برابر است که این نیز در نمودار ۱.۱۷ قابل مشاهده است.

حال فرکانس 1MHz را اضافه میکنیم و شکل نهایی مدار و پاسخ فرکانسی آن را مشاهده میکنیم.

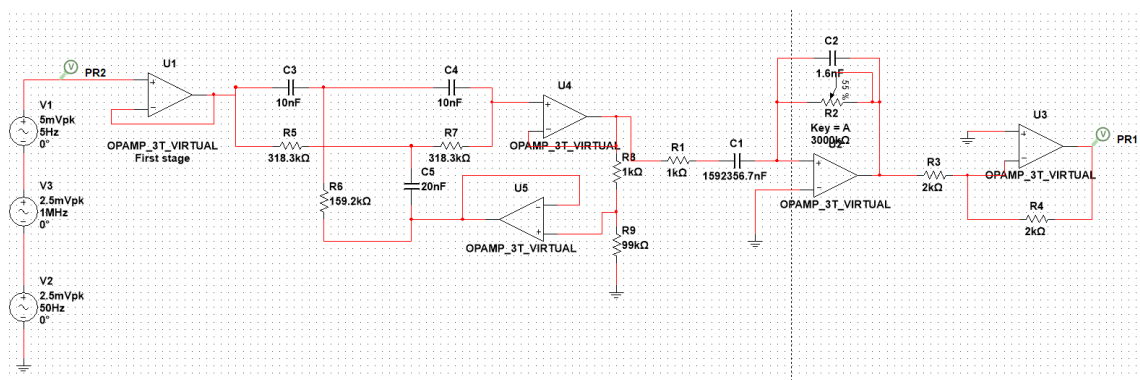


Figure 1.18(ECG)

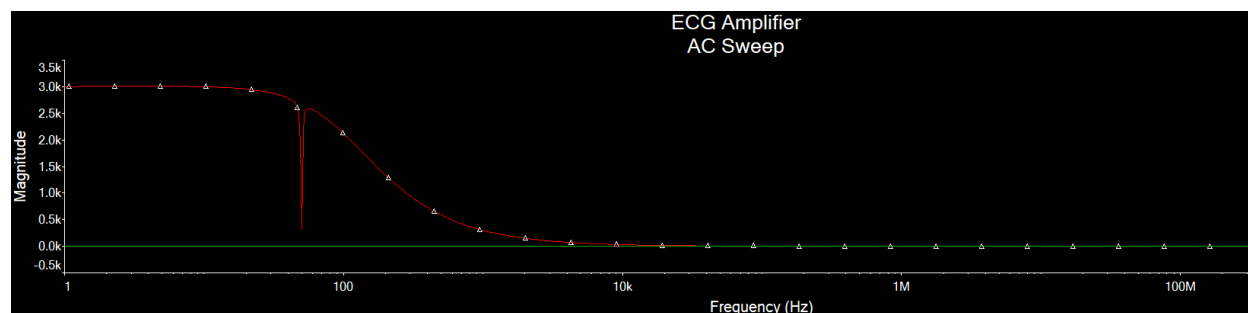


Figure 1.19(frequency response of ECG Amplifier)

همانطور که میبینیم مدار در فرکانس 50Hz ، دامنه ورودی را در حد ۱۰۰ برابر میکند و فرکانس 1MHz را کاملاً از بین میبرد. همچنین چون فرکانس ورودی برابر 5Hz است ، اندازه دامنه ورودی که برابر با ۳ است را به ۳۰۰۰ میرساند. پس گین مدار همان ۱۰۰۰ است.

برای آنکه گین ما متغیر باشد میتوان پتانسیومتر را از $1\text{k}\Omega$ تا $5\text{k}\Omega$ تغییر دهیم. (در پتانسیومتر استفاده شده باید از ۲۰ تا ۱۰۰ درصد تنظیم کرد).

بخش دوم (تقویت کننده EEG)

در این بخش می‌خواهیم سیگنال EEG که از مغز گرفته می‌شود را تقویت کنیم. همانطور که میدانیم سیگنال‌های مغز دارای دامنه‌ای در حد میکروولت هستند و اما بازه فرکانسی آن‌ها از ۰.۵ تا ۱۰۰ هرتز هست. هر بازه‌ای از فرکانس مغز مربوط به فعالیت خاصی است. در اینجا تقویت کننده‌ای نیاز داریم که اولاً ولتاژ ما را بیشتر از سیگنال‌های قلب تقویت کند و ثانیاً دارای پاسخ فرکانس وسیع تری باشند. در اینجا نویزها فرکانس بالا مانند قبل با یک فیلتر Band pass استفاده می‌کنیم.

درمورد برق شهر اما داستان متفاوت است. زیرا اگر فرکانس سیگنال مغز در حدود فرکانس برق شهر باشد، با استفاده از فیلتر میان‌گذر، هر دو سیگنال ما تضعیف می‌شود. ساده‌ترین راه برای برطرف کردن آن، استفاده از فیلتر notch مرتبه دو است.

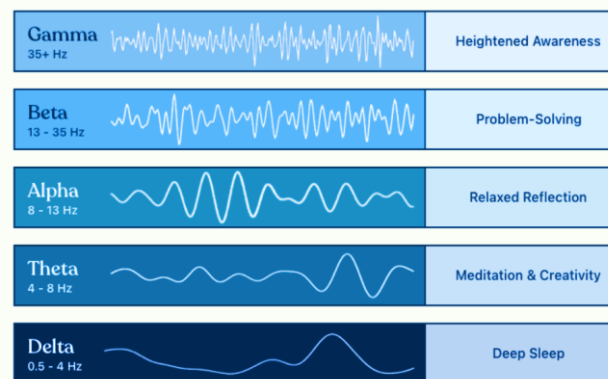


Figure 2.1(EEG)

از فیلترها و بافرهای ساخته شده از قسمت قبل برای طراحی مدار استفاده می‌کنیم.

در اینجا نیز هدف حذف نویزهای فرکانس بالا تا جای ممکن و حذف برق شهر است.

برای فرکانس بالا از Active inverting Op Amp bandpass filter استفاده می‌کنیم.

و برای برق شهر می‌توانیم از notch filter استفاده نماییم.

مدار آن به شکل زیر است.

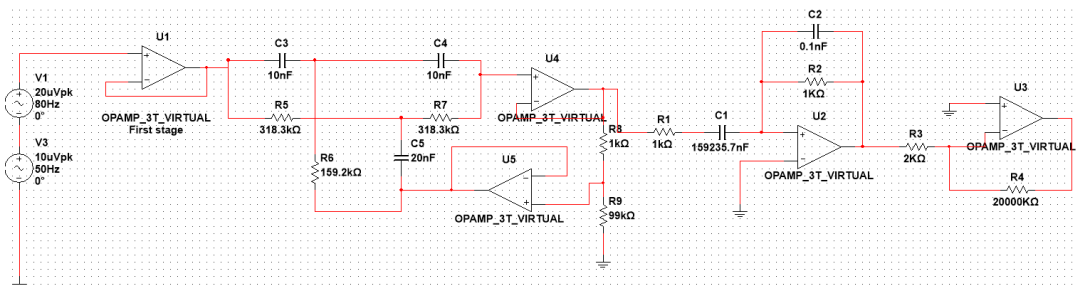


Figure 2.2(EEG Amplifier)

در مدار بالا به خاطر بالا بودن فرکانس ۱MHz و عدم توانایی رسم آن ، صرف نظر شده تا کارایی مدار را ببینیم.

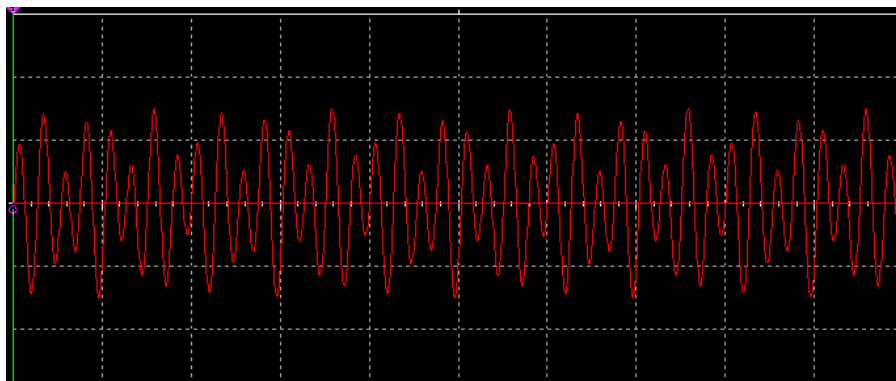


Figure 2.3(input signal)

*به خاطر کوچک بودن دامنه از اسیلوسکوپ دیگری استفاده کردیم.

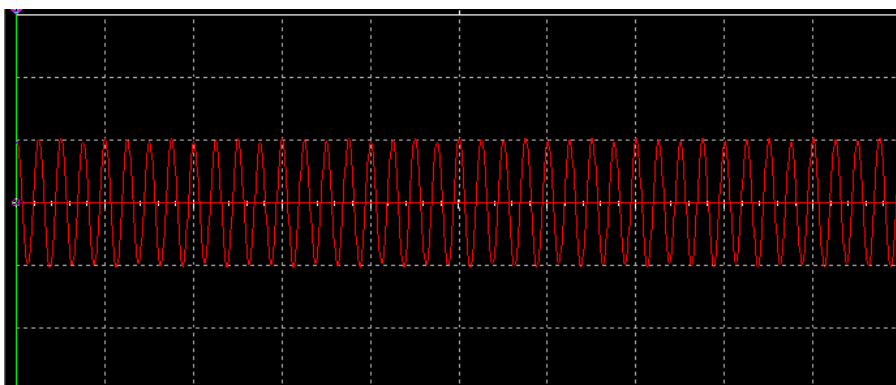


Figure 2.4(Notch filter output)

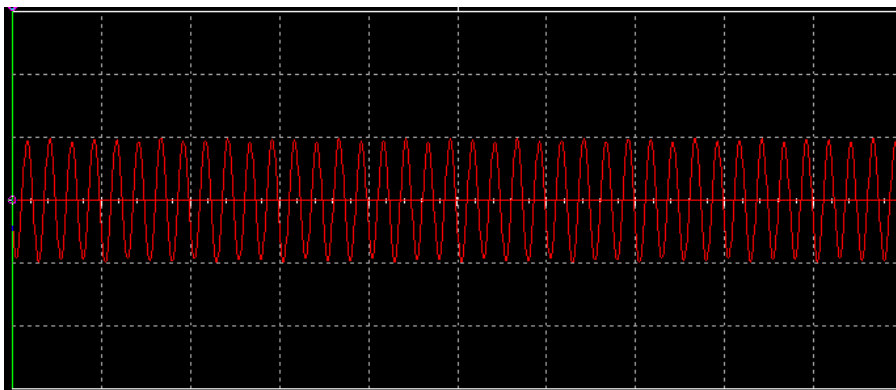


Figure 2.5(output signal)

همانطور که میبینیم سیگنال ورودی در فرکانس ۵۰Hz فیلتر و دامنه آن از $20\text{ }\mu\text{V}$ به 0.27 رسیده است پس گین آن برابر با 10000 است.

حال سیگنال با فرکانس بالا را اضافه کرده و پاسخ فرکانسی آن را بررسی میکنیم.

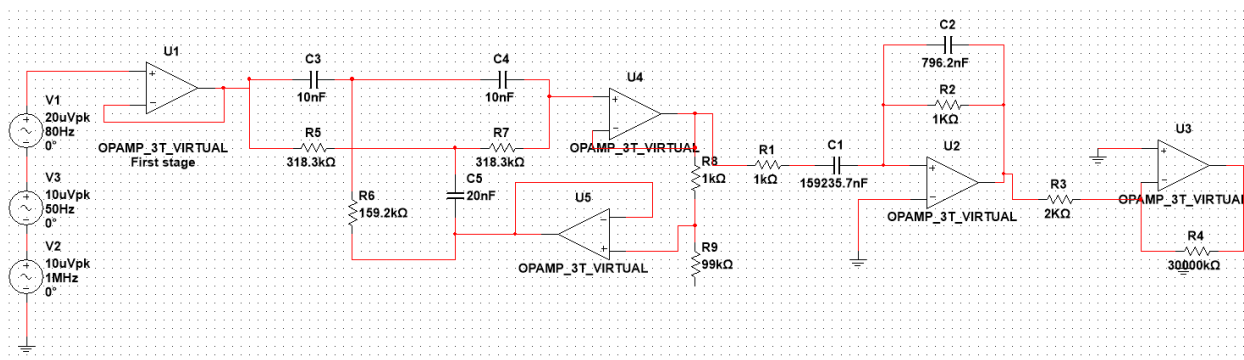


Figure 2.6 (EEG Amplifier)

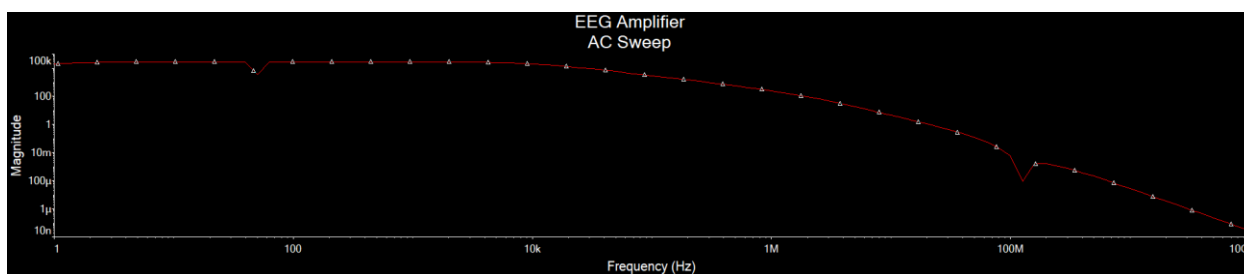


Figure 2.7 (Frequency response of EEG Amplifier)

همانطور که میبینیم در بازه فرکانسی ۱ تا ۲۰۰ هرتز در حال تقویت است اما به خوبی پاسخ فرکانسی EEG نیست. پس با سری کردن Bandpass با هم و گرفتن گین از بافر طبقه آخر نتیجه بهتری میگیریم.

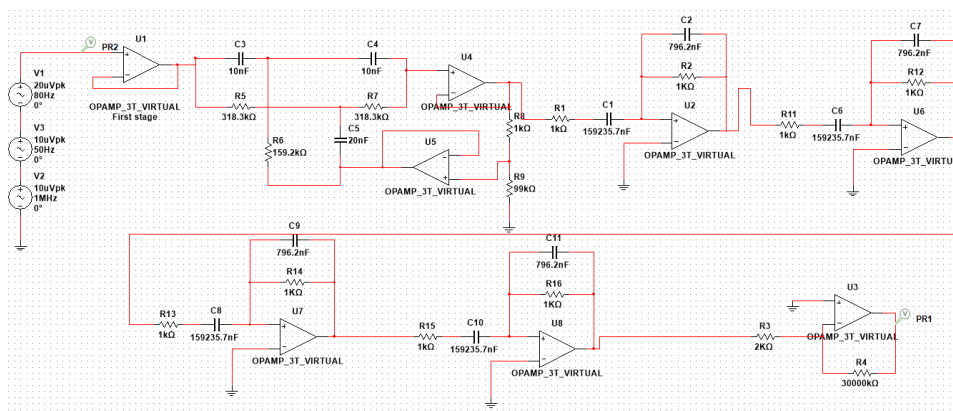


Figure 2.8 (EEG Amplifier with better frequency response)

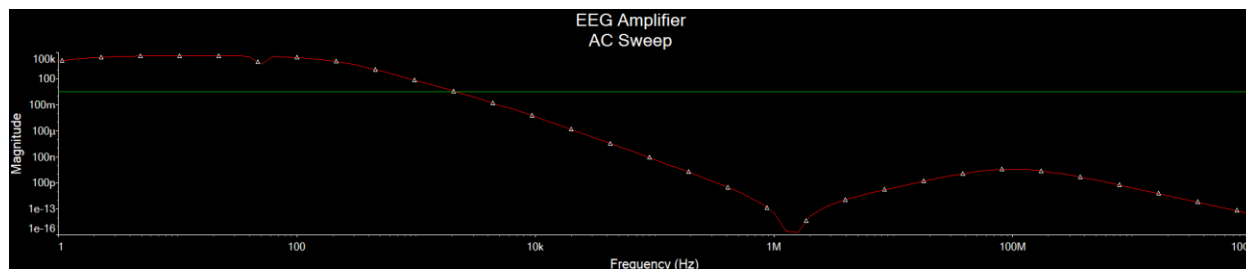


Figure 2.9(frequency response of EEG Amplifier)

همانطور که میبینیم در اینجا قدرت تضعیف در فرکانس هایی غیردلخواه ما بیشتر است و در ۱ MHz به طور کامل سیگنال را تضعیف میکند.

با توجه به فیلترهای سری شده گین ما نیز دستخوش تغییر شده که با تغییر مقاومت R4 میتوان گین دلخواه را از مدار گرفت.

میتوان با قرار دادن پتانسیومتر به جای R4 و تغییر آن از $21\text{M}\Omega$ به $150\text{M}\Omega$ به گین گفته شده در صورت پروژه میرسیم.

منابع:

<https://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Bandpass-filter-calculator.php>

<http://electricalsafety.blogfa.com/post/155>

<https://electronicbase.net/band-stop-filter-calculator>

<https://www.eca.ir/forums/forum>

[https://www.changpuak.ch/electronics/Active Notch Filter.php](https://www.changpuak.ch/electronics/Active%20Notch%20Filter.php)