

به نام خدا

اصول الکترونیک و آزمایشگاه

استاد: دکتر فخارزاده

گزارش تمرین شبیه‌سازی شماره ۳

سید محمد امین منصوری طهرانی

۹۴۱۰۵۱۷۴

* فهرست فایل‌های پیوست‌شده در انتهای گزارش قابل مشاهده است.

۲- فرستنده AM

۱-۲

یکی از علل مدولاسیون این می‌باشد که پس از ضرب عامل کسینوس با فرکانس carrier یا حمل کننده در سیگنال اصلی، بنابر رابطه مثلثاتی تبدیل ضرب به جمع، مجموعاً ۳ فرکانس خواهیم داشت. یکی فرکانس حمل کننده و دو فرکانس دیگر $f_c \pm f_m$ که f_m فرکانس سیگنال اصلی است.

$$y(t) = [1 + \mu x_n(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

$$\begin{aligned} y(t) &= \cos(2\pi f_c t) + \mu \cos(2\pi f_m t) \cos(2\pi f_c t) \\ &= \cos(2\pi f_c t) + \frac{\mu}{2} \cos[2\pi(f_c - f_m)t] + \frac{\mu}{2} \cos[2\pi(f_c + f_m)t] \end{aligned}$$

بنابراین به‌وسیله عملیات ضرب که به‌وسیله مثلاً ترانزیستور شکل می‌گیرد، انرژی سیگنال را افزایش می‌دهیم تا برای مخابره کردن به نقاط دور در اثر تضعیف، هنوز بتوانیم اطلاعات را به مقصد برسانیم.

یک علت دیگر این است که برای فرستادن سیگنالی با فرکانس f_m به آنتنی با قطر $\frac{1}{4}$ طول موج متناظر با آن فرکانس نیاز داریم. پس برای فرکانس‌های در مرتبه کیلوهرتز به آنتن‌هایی در حدود ۷۵ کیلومتر نیاز داریم! اما با مدولاسیون، آنتن‌هایی با طول بسیار کمتر نیازمان را برآورده می‌کنند.

همچنین اگر بخواهیم سیگنال صوتی که در بازه ۲۰ تا ۲۰ کیلوهرتز می‌باشد را بفرستیم، به علت وجود پهنای باند کم، نمی‌توانیم همزمان اطلاعات زیادی را منتقل کنیم.

همچنین مدولاسیون امکان فرستادن تعداد زیادی اطلاعات را به طور همزمان فراهم می‌کند زیرا می‌توانیم هر سیگنال را با فرکانس حمل کننده مربوط به آن و جدا از دیگر سیگنال‌ها منتقل کنیم.

۲-۲

پس از چندبار امتحان کردن مشخص شد رابطه زیر برای خروجی و a, b برقرار است.

$$y = a(b + x(t)) \cos 2\pi f_c t$$

۳- کانال

۱-۳

کد در فایل قرار داده شده است و نکته خاصی ندارد.

۲-۳

خیر. این امکان وجود ندارد زیرا در ادامه، این ولتاژ جدید قرار است تحت اثر فیلترها و تقویت کننده‌ها قرار بگیرد و می‌دانیم در دنیای واقعی فرستنده از گیرنده تاثیری نمی‌پذیرد اما در صورتیکه با تقسیم مقاومتی این کاهش شدت را مدل کنیم، گیرنده نیز بر فرستنده اثر خواهد گذاشت که واقعی نیست. بنابراین باید با منبع ولتاژ وابسته مدل شود تا یک‌طرفه بودن سیستم فرستنده-گیرنده حفظ شود.

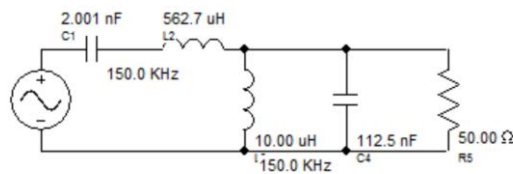
۴- گیرنده AM

۱-۴ طراحی تقویت کننده

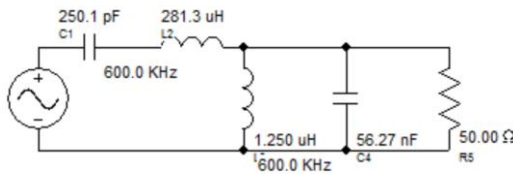
تقویت کننده همان تقویت کننده تمرین شماره ۲ است. مطابق خواسته سوال به صورت subckt قرارداده شده است. ۲ بافر یکسان نیز برای نیازهای موجود طراحی شد. این بافرها با آرایش دارلینگتون طراحی شدند تا مقاومت ورودی بالا و مقاومت خروجی پایین داشته باشد و بافر ولتاژ ایده‌آل را مدل کند. تصویر آن در زیر آورده شده است. (با توجه به در دسترس نبودن Pspice امکان ترسیم زیباتر بعضی از اشکال وجود نداشت و تصویر آن‌ها بر روی کاغذ را قرار داده‌ام.)

۴-۲-۲- در زیر مدار هر فیلتر آورده می شود.

برای فیلتر اول فرکانس مرکزی ۱۵۰ کیلوهرتز و با توجه به رابطه‌ای که در صفحه ۱ نوشته شد (تبدیل ضرب به جمع)، برای نگه داشتن ۱۰ کیلوهرتز فرکانس از هر طرف، پهنای باند را ۲۰ کیلوهرتز انتخاب کردم. مرتبه فیلتر باترورث را نیز ۲ گذاشتم. برای فیلتر دوم فرکانس مرکزی ۶۰۰ کیلوهرتز و با توجه به سیگنال اصلی، پهنای باند ۴۰ کیلوهرتز تنظیم شد. (با مرتبه باترورث ۲)

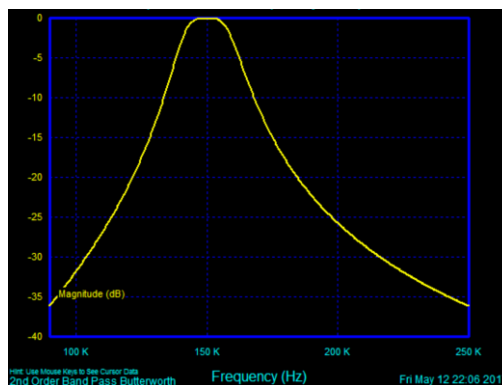


فیلتر اول (فرکانس مرکزی ۱۵۰ کیلوهرتز)

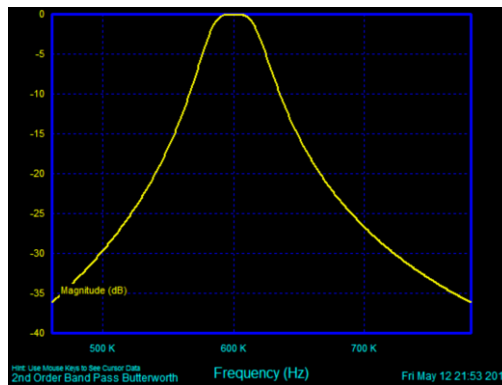


فیلتر دوم (فرکانس مرکزی ۶۰۰ کیلوهرتز)

۴-۲-۳- پاسخ فرکانسی را از خود نرم افزار Filter Solutions می گیریم.



فیلتر اول (فرکانس مرکزی ۱۵۰ کیلوهرتز)



فیلتر دوم (فرکانس مرکزی ۶۰۰ کیلوهرتز)

پهنای باند با توجه به عللی که در قسمت‌های قبل گفته شد برای فیلتر اول ۲۰ و برای فیلتر دوم ۴۰ کیلوهرتز در نظر گرفته شد.

می‌دانیم رابطه ضریب کیفیت به صورت زیر است:

$$Q = \frac{f_c}{\Delta f}$$

که در آن f_c فرکانس مرکزی و Δf پهنای باند است. هرچه پهنای باند کمتر باشد به معنی باریک‌تر بودن نمودار پاسخ فرکانسی و بالاتر بودن ضریب کیفیت است. (فرکانس‌های کمتری حول فرکانس مرکزی تضعیف نمی‌شوند).

با توجه به رابطه فوق و مقادیر ذکر شده ضرایب کیفیت دو فیلتر طراحی شده به صورت زیراند.

	Q
Filter 1	7.5
Filter 2	15

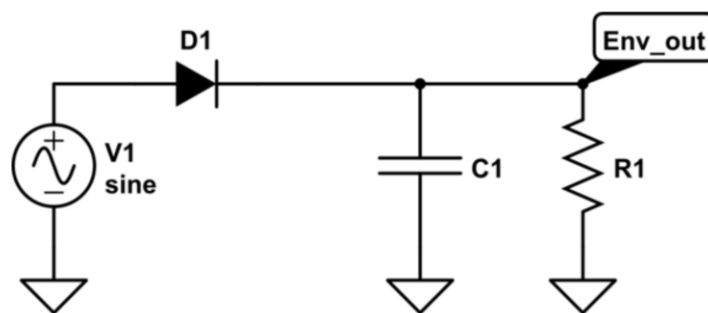
۴-۳ طراحی آشکارساز پوش

۴-۳-۱- مدار یک آشکارساز پوش نوعی مانند تصویر زیر می‌باشد. (البته لزومی ندارد ورودی سینوسی باشد.) برای استفاده از آن باید به نکاتی توجه نمود. اولاً ولتاژ قبل از دیود باید در نیمه مثبت سیکل‌های خود از ولتاژ روشن شدن دیود بیشتر باشد. وگرنه خروجی مورد انتظار نخواهد بود. (در مراحل انجام شبیه‌سازی به این مشکل برخوردیم که خروجی مطلوب نبود و متوجه شدیم

بیش از حد ورودی را تضعیف کرده بودم.) دومین نکته طرز کار این آشکارساز است. وقتی از ولتاژ روشن شدن دیود عبور کنیم خروجی ورودی را دنبال می کند ولی هنگامی که به یک قله برسیم دیود قطع شده و مدار RC باقی مانده شروع به دشارژ شدن می کند. برای اینکه از موج AM بتوانیم موج اصلی را بدست بیاوریم، باید ثابت زمانی این مدار RC به طور مناسب تنظیم شود. در واقع نه باید آن قدر کم باشد که همان موج AM بدست آید و نه آن قدر زیاد که پس از تشخیص یک سیکل از سیگنال اصلی، دیگر ثابت بماند و سیکل های بعدی از دست برود. باید مقداری مناسب در بازه زیر باشد. (f_c فرکانس حمل کننده و f_m فرکانس سیگنال اصلی است.)

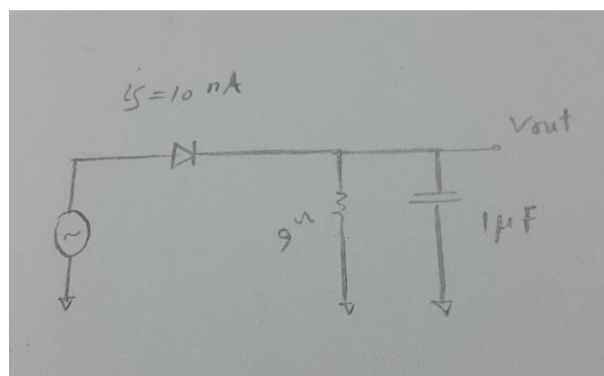
$$\frac{1}{f_c} < \tau = RC < \frac{1}{f_m}$$

این مقدار مناسب می تواند با آزمون و خطا بدست آید.

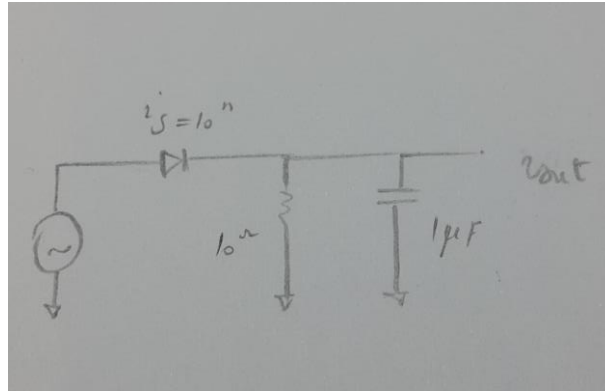


آشکارساز پوش

۴-۳-۲- مدار دو آشکارساز در زیر دیده می شود. (کدها پیوست شده اند.)



آشکارساز پوش برای $(f_m, f_c) = (10\text{KHz}, 150\text{KHz})$



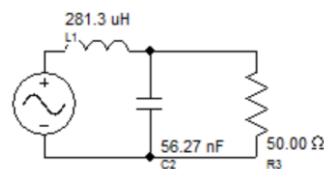
آشکارساز پوش برای $(f_m, f_c) = (20\text{KHz}, 600\text{KHz})$

۴-۴ طراحی HPF و LPF

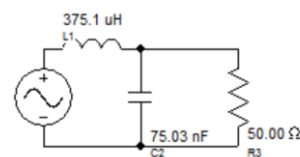
۴-۴-۱- هدف از فیلتر پایین گذر: پس از گذشتن از آشکارساز پوش، در قله‌ها اعوجاج‌های فرکانس بالایی وجود دارد که در تصاویر مربوط به قسمت پیاده‌سازی کل مدار قابل رؤیت است. برای حذف این اثرات فرکانس بالا و نزدیک شدن به خروجی سینوسی اصلی که فرستنده ارسال کرده‌است، از فیلتر پایین گذر استفاده می‌کنیم.

هدف از فیلتر بالاگذر: پس از گذشتن از فیلتر پایین گذر سیگنالی تقریباً سینوسی داریم با این تفاوت که فقط در مقادیر مثبت مقدار دارد و این به معنی وجود مقدار DC در سیگنال است. از آنجایی که مقدار ثابت فرکانس صفر دارد، با گذراندن از فیلتر بالاگذر، مقدار ثابت حذف شده و سیگنال حول صفر متقارن خواهد شد. (مانند سیگنالی که فرستنده ارسال کرده بود).

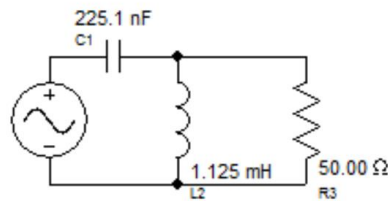
۴-۴-۲- شماتیک‌ها در زیر آورده شده‌اند. این فیلترها نیز با نرم‌افزار Filter Solutions بدست آمدند.



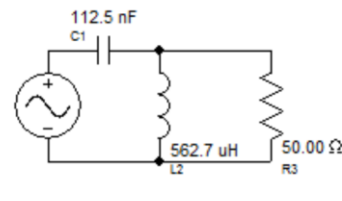
پایین گذر $(f_m, f_c) = (20\text{KHz}, 600\text{KHz})$



پایین گذر $(f_m, f_c) = (10\text{KHz}, 150\text{KHz})$



بالاگذر $(f_m, f_c) = (20\text{KHz}, 600\text{KHz})$



بالاگذر $(f_m, f_c) = (10\text{KHz}, 150\text{KHz})$

برای $(f_m, f_c) = (10\text{KHz}, 150\text{KHz})$ به یک فیلتر پایین‌گذر و بالاگذر نیاز داریم. فیلتر پایین‌گذر آن باید ۱۰ کیلوهرتز را به خوبی عبور دهد بنابراین فرکانس قطع آن را ۲۰ کیلوهرتز تنظیم می‌کنیم. فیلتر بالاگذر آن نباید ۱۰ کیلوهرتز که مربوط به سیگنال اصلی است را مخدوش کند بنابراین فرکانس قطع فیلتر بالاگذر آن را نیز ۲۰ کیلوهرتز قرار می‌دهیم. برای $(f_m, f_c) = (20\text{KHz}, 600\text{KHz})$ نیز به یک فیلتر پایین‌گذر و بالاگذر نیاز داریم. فیلتر پایین‌گذر آن باید ۲۰ کیلوهرتز را به خوبی عبور دهد بنابراین فرکانس قطع آن را ۴۰ کیلوهرتز تنظیم می‌کنیم. فیلتر بالاگذر آن نباید ۲۰ کیلوهرتز که مربوط به سیگنال اصلی است را مخدوش کند بنابراین فرکانس قطع فیلتر بالاگذر آن را نیز ۱۰ کیلوهرتز قرار می‌دهیم.

فرکانس قطع تمامی فیلترهای فوق تقریباً $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ است. (فرکانسی که شدت 3dB افت می‌کند). برای حالت پایین‌گذر خازن را در خروجی و برای حالت بالاگذر سلف را در خروجی می‌گذاریم زیرا خازن در فرکانس‌های بالا و سلف در فرکانس‌های پایین اتصال کوتاه می‌شوند و خروجی را صفر می‌کنند. بنابراین برای فرکانس‌های قطعی که در بالا مشخص شدند لازم است رابطه فوق برای فرکانس قطع با حاصل ضرب مقادیر سلف و خازن محقق شود.

۴-۳-۴ فایل‌ها پیوست شده‌اند.

۵- پیاده‌سازی کل مدار

۵-۱ پیاده‌سازی تمام بخش‌های AM

* تصاویر خواسته‌شده در قسمت ۵-۱-۲ در بین توضیحات قسمت گیرنده در ۵-۱-۱ قرار داده شده‌است. ضمناً تصاویر هم برای بازه ۱۰ میلی‌ثانیه و هم برای بازه ۱ میلی‌ثانیه برای واضح بودن بیشتر قرار داده شده‌است.

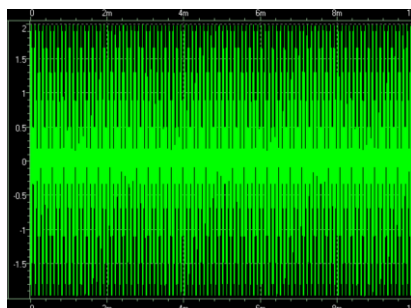
۵-۱-۱- در فایل AM_TOTAL در ابتدا با دستور include همه زیرمدارها (subckt) را به فایل اضافه می‌کنیم تا در صورت استفاده برای Hspice معرفی شده باشند و به مشکل برنخوریم. فرستنده:

در ادامه آن دو موج AM خواسته شده (با $a, b = 1$) را به وسیله کد قسمت ۲-۲ تولید می‌کنیم. با توجه به درخواست سوال چون قرار است هر دو موج با یک سیگنال فرستاده شوند، آن‌ها را به صورت سری قرار می‌دهیم. (گره ابتدایی یکی، به گره انتهایی دیگری متصل شده است.) پس از آن هم منابع تغذیه V_{cc}, V_{ee} ساخته می‌شوند. کانال:

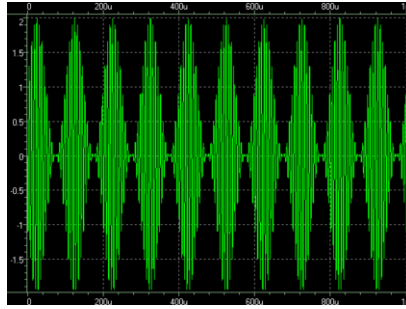
یک نمونه از کانال ساخته می‌شود و گره ورودی آن سر خروجی سری شده دو منبع موج و گره خروجی آن تضعیف شده ورودی است.

گیرنده AM :

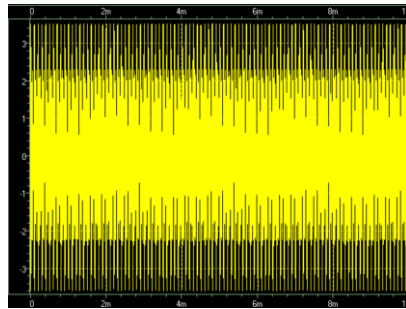
توضیح ادامه کد: در ابتدا توسط فیلترهایی که در بخش‌های قبل طراحی کردیم و ساختن نمونه آن‌ها و فراخوانی آن‌ها، دو سیگنال را در گیرنده از هم جدا می‌کنیم. در زیر تصاویر تک تک ورودی‌ها و ترکیب آن‌ها و سپس فیلترشده آن‌ها را می‌بینیم.



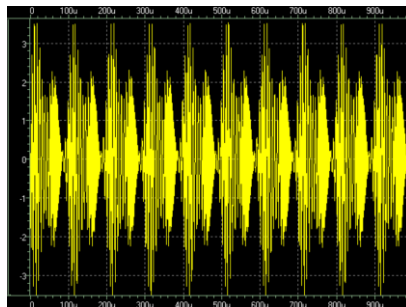
موج اول (بازه ۱۰ میلی ثانیه)



موج اول (بازه ۱ میلی ثانیه)

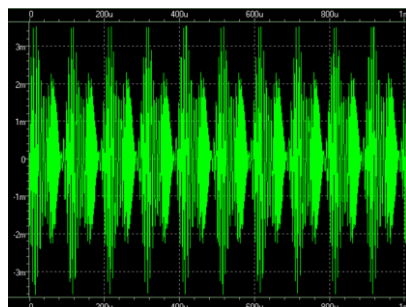


کل سیگنال ارسالی (بازه ۱۰ میلی ثانیه)

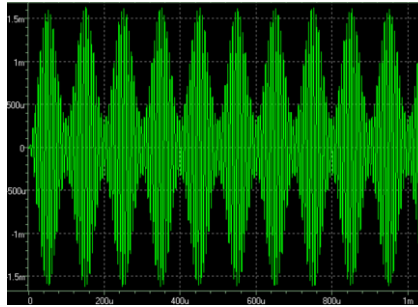


کل سیگنال ارسالی (بازه ۱ میلی ثانیه)

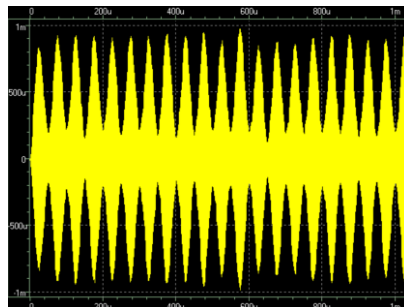
سیگنال تضعیف شده بعد از عبور از کانال:



سیگنال پس از عبور از فیلتر اول:



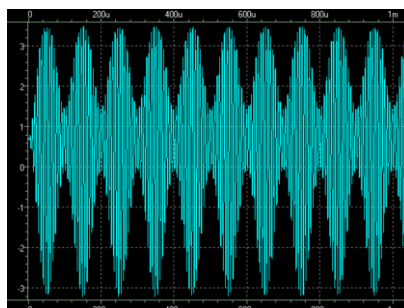
سیگنال پس از عبور از فیلتر دوم:

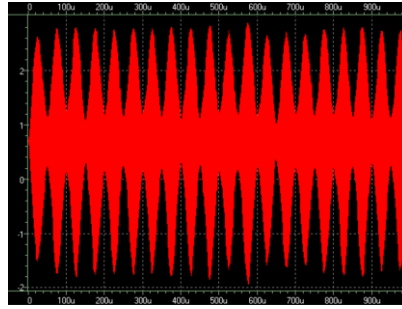


از اینجا به بعد دو سیگنال مسیرهای جدایی را برای پردازش طی می کنند زیرا با فیلترها هر موج بازیابی شده است.

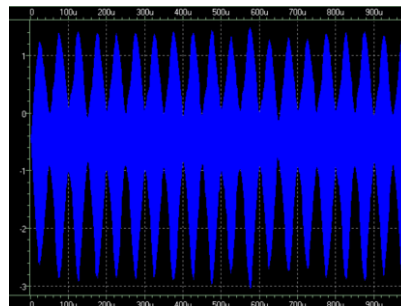
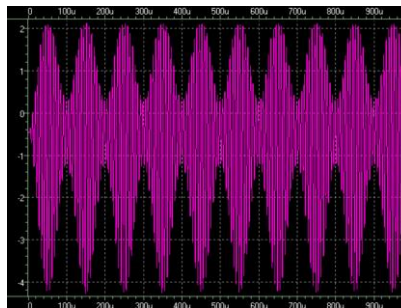
* در تمام تصاویر ۲ تایی، اولین تصویر مربوط به موج با فرکانس مرکزی ۱۵۰ کیلوهرتز و تصویر دوم مربوط به موج با فرکانس ۶۰۰ کیلوهرتز است.

پس از این مرحله فیلتر، لازم است دو سیگنال تقویت شوند. پس باید از تقویت کننده های طراحی شده استفاده کنیم. اما با توجه به زیاد بودن بهره تقویت کننده طراحی شده (حدود ۲۳۰۰۰) در ورودی آن از تقسیم مقاومتی استفاده می کنیم. سپس دو نمونه تقویت کننده ساخته می شود و گره خروجی تقسیم مقاومتی به ورودی تقویت کننده داده می شود. نتایج در تصاویر زیر مشخص است. (گره های ۸ و ۹)

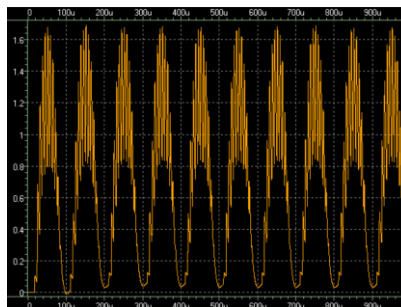


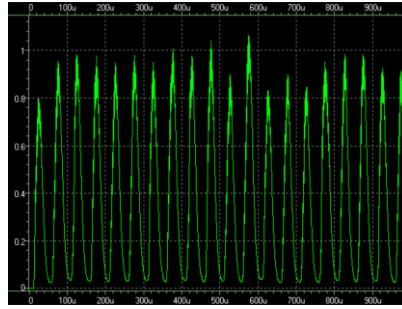


در ادامه برای بازیابی موج‌های مدوله‌شده باید پوش ۲ موج اخیر بدست بیاید. اما با توجه به اینکه مدار آشکارساز پوش در نیمه فعال خود شامل مقاومت و خازن است، برای جلوگیری از اختلال عملکرد طبقه قبل آن که تقویت‌کننده می‌باشد، پس از تقویت‌کننده برای ایزوله کردن تقویت‌کننده و آشکارساز پوش از بافرهای طراحی شده استفاده می‌کنیم. خروجی هر دو سیگنال در اثر عبور از بافر در زیر نشان داده شده‌اند. (گره‌های ۱۰ و ۱۱) به خاطر ایده‌آل نبودن بافر، مقداری در دامنه تغییر ایجاد می‌شود.

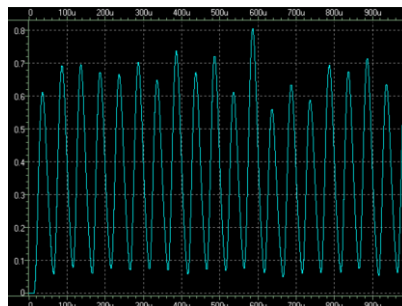
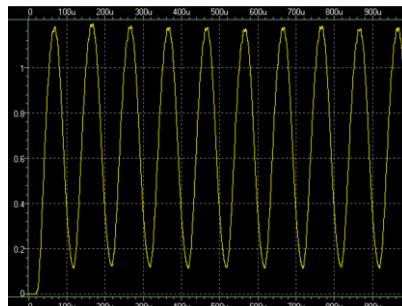


در ادامه خروجی موج‌ها پس از عبور از آشکارساز پوش دیده می‌شود. (گره‌های ۱۲ و ۱۳)

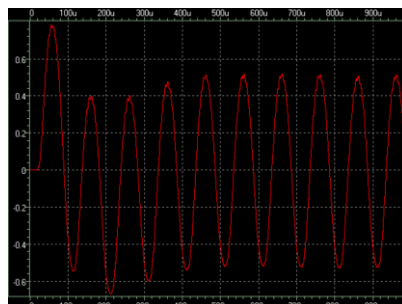


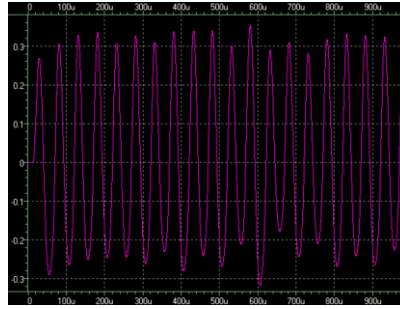


پس از این مرحله برای حذف اعوجاج‌های فرکانس بالایی که در قله‌ها می‌شود باید دو موج از فیلترهای پایین‌گذر طراحی شده عبور کنند. شکل موج گره‌های ۱۴ و ۱۵ در تصاویر زیر دیده می‌شود. مشاهده می‌شود به جز داشتن مقدار ثابت، هر دو موج بسیار به ورودی‌های سینوسی مدوله نشده شبیه‌اند.

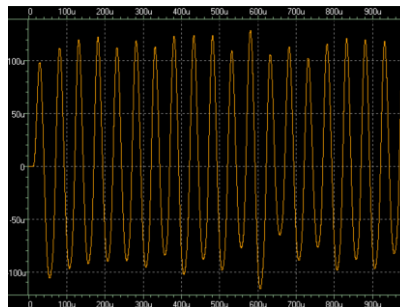
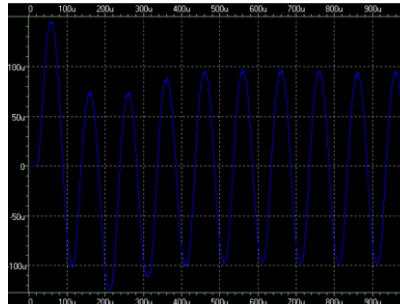


حال این دو موج فوق را برای حذف مقدار DC از فیلترهای بالاگذری که طراحی کرده بودیم عبور می‌دهیم. (گره‌های ۱۶ و ۱۷ در تصاویر زیر این نتایج را نشان می‌دهند.)

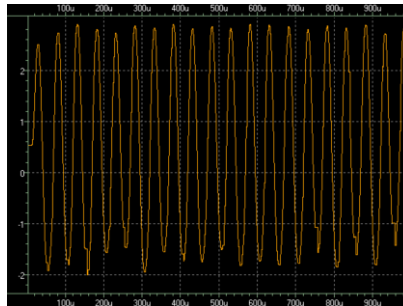
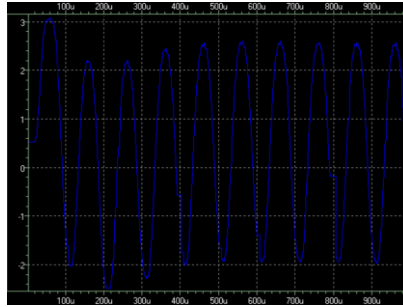




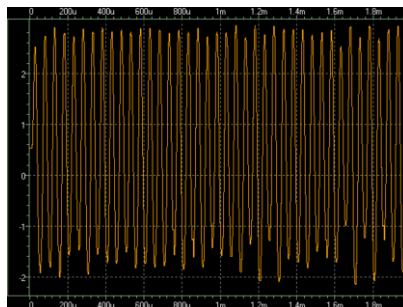
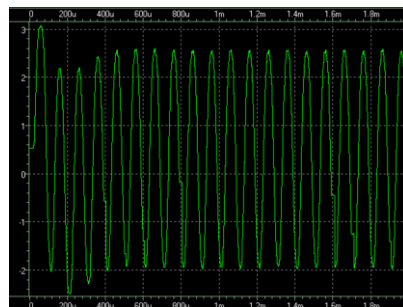
حال برای رسیدن به سوینگ گفته شده که قابل استفاده برای *Speaker* باشد باید از تقویت کننده ها استفاده کنیم. اما با توجه به اینکه در حد چند برابر بهره می خواهیم و بهره تقویت کننده ما بسیار بیشتر (۲۳۰۰۰) است، باید از تقسیم مقاومتی با مقاومت های بسیار بزرگتری نسبت به دفعه قبل و مقاومت ورودی تقویت کننده استفاده کنیم. نتیجه تقسیم مقاومتی را در تصاویر زیر مشاهده می کنیم. (گره های ۱۸ و ۱۹)



سپس در گره های ۲۰ و ۲۱ نتیجه تقویت شده را ملاحظه می کنیم. همچنین در این گره ها *Speaker* با مقاومت ۸ اهم مدل شده و به زمین متصل شده است. این تصاویر نتایج نهایی می باشند.



همان سیگنال‌های فوق در بازه بزرگتر:



سوینگ: در مورد موج اول در حالت پایدار مشاهده می‌شود بیش از ۴ ولت است.

THD : با تحلیل four در Hspice حول فرکانس ۱۰ کیلوهرتز برای موج اول و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز برای موج دوم در گره‌های ۲۰ و ۲۱ می‌توانیم مقدار THD را مشاهده کنیم.


```

fourier components of transient response v(20)
dc component = 0.515774
harmonic frequency fourier normalized phase normalized
no (hz) component component (deg) phase (deg)
1 10.0000k 2.25013 1.00000 -130.337 0.
2 20.0000k 145.117m 64.4928m 145.944 276.281
3 30.0000k 175.044m 77.7927m 7.45374 137.791
4 40.0000k 110.360m 49.0458m -7.05054 123.287
5 50.0000k 88.5365m 39.3472m -15.9500 114.387
6 60.0000k 63.0089m 28.0023m -14.0643 116.273
7 70.0000k 37.5056m 16.6682m -42.6238 87.7136
8 80.0000k 28.6894m 12.7501m -126.423 3.91415
9 90.0000k 28.6380m 12.7272m -148.559 -18.2218

total harmonic distortion = 12.4785 percent
fourier components of transient response v(21)
dc component = 0.47761
harmonic frequency fourier normalized phase normalized
no (hz) component component (deg) phase (deg)
1 20.0000k 2.30421 1.00000 -143.383 0.
2 40.0000k 142.431m 61.8136m 4.78676 148.170
3 60.0000k 101.175m 43.5090m -76.5761 66.8070
4 80.0000k 23.4796m 10.1899m 103.235 246.618
5 100.000k 3.65291m 1.58532m 32.4230 175.806
6 120.000k 5.09541m 2.21135m -71.9206 71.4625
7 140.000k 3.76300m 1.6310m 172.632 316.015
8 160.000k 3.69197m 1.60227m 59.2867 202.670
9 180.000k 3.14804m 1.36621m 10.1191 153.502

total harmonic distortion = 7.65981 percent

```

مشاهده می‌کنیم برای هر دو حالت کمتر از ۱۵ درصد است.

۶- پخش سیگنال صوت توسط مدار شکل دوم

کد متلب پیوست شده است. ابتدا فایل ضمیمه شده در متلب خوانده می‌شود. سپس با ۲ حلقه به فرمت قابل استفاده برای Hspice تبدیل می‌شود. سپس در فایلی به نام data.txt ذخیره می‌شود. پس از آن در فایل music.sp که توضیحات آن در ادامه می‌آید، به عنوان ورودی تقویت‌کننده داده می‌شود. پس از تقویت‌کننده نیز مقاومت ۸ اهمی مدل‌کننده *Speaker* قرار دارد. پس از اجرای فایل با Hspice و گذاشتن دستور گفته‌شده برای مشاهده مقادیر خروجی، از فایل lis. نتیجه‌ها در فایلی ذخیره شد. سپس با تبدیل u و m ها به $e-6$ و $e-3$ که برای متلب قابل فهم باشد، در متلب با دستور import این داده‌ها را که در یک فایل جداگانه قرار داده شده می‌خوانیم. متلب یک ماتریس می‌دهد که تعداد سطرها برابر تعداد کل داده‌هاست. تعداد ستون‌ها ۲ عدد می‌باشد که یک ستون زمان و ستون دیگر مقادیر متناظر در آن زمان را نشان می‌دهد. در ادامه نیز یک شیء برای کنترل پخش صدا تعریف شده است. در نهایت نیز صدای تقویت‌شده در فایلی ذخیره شده است.

توضیح کد music.sp :

ابتدا به وسیله include. به فایلی که با استفاده از متلب از سیگنال تضعیف‌شده بدست آمد و در بالا به آن اشاره شد دسترسی پیدا می‌کنیم. سپس با همان include. به تقویت‌کننده دسترسی می‌یابیم. در ادامه منابع تغذیه تعریف شده‌اند. پس از آن یک نمونه از فایل داده‌ها که به صورت subckt به عنوان ورودی ذخیره شده بود، ساخته می‌شود. سپس از یک مقاومت کوچک برای

کاهش بهره به وسیله تقسیم مقاومتی استفاده شده است. بعد هم گره حاصل از تقسیم مقاومتی به تقویت کننده داده می شود. پس از آن نیز مقاومت *Speaker* قرار داده شده است. برای تحلیل tran. نیز با توجه به فرکانس نمونه برداری و طول سیگنال که در متلب بدست آمد مقادیر گذاشته شده اند. خروجی نیز نشان داده می شود تا با ذخیره سازی آن در فایلی جدید همان طور که در بالا اشاره شد، در متلب از آن استفاده کنیم.

فایل های پیوست شده:

کد متلب برای قسمت اختیاری آخر: روند بدست آوردن داده ها و تولید زمان و هم چنین ذخیره سیگنال تقویت شده در آن قابل رؤیت است.

Output.txt : این فایل حاوی خروجی Hspice پس از تقویت شدن سیگنال برای استفاده متلب می باشد. البته u و m های پیشوند با توجه به این که برای متلب قابل استفاده نبودند با توان مناسب جایگزین شدند.

Myopamp-LPF1-LPF2-HPF1-HPF2-filter1-filter2-Env-Det1-EnvDet2-buffer[1]-buffer[2]-channel : همه المان ها و زیرمدارهای لازم برای شبیه سازی فرستنده و گیرنده هستند.

AM_TOTAL : این فایل به همراه زیرمدارها کل فرستنده و گیرنده را اجرا می کند.

Data1.sp : این فایل خروجی متلب است به صورتیکه زمان ها به آن اضافه شده و به فرمت subckt در آمده تا بتوانیم از آن به عنوان ورودی تقویت کننده استفاده کنیم.

Music.sp : این فایل نیز مربوط به اجرای قسمت اختیاری می باشد.

AmplifiedMusic : نتیجه نهایی قسمت اختیاری نیز ضمیمه شده است.