

به نام خدا



دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

# تمرین کامپیوتری ۱

اصول سیستم‌های مخابراتی

دکتر صباغیان

طراح:

علی شکوهی‌فر

## فهرست:

۳.....	مقدمه:
۴.....	تمرین ۱:
۶.....	تمرین ۲:
۸.....	تمرین ۳:
۹.....	تمرین ۴:
۱۰.....	نکات مربوط به تمرین کامپیوتری

**مقدمه:**

شما در این تمرین کامپیوتری ابتدا قرار است از دانشی که در درس سیگنال‌ها و سیستم‌ها و ابتدای درس مخابرات بدست آورده‌اید استفاده کنید و یک سیگنال صوتی را در حوزه زمان و فرکانس مشاهده کرده و فیلتر کنید.

در ادامه این تمرین کامپیوتری قصد داریم به صورت کلی با مدولاسیون‌های آنالوگ و زاویه بدون حضور نویز آشنا شوید.

در تمرین دوم و سوم به پیاده‌سازی مدولاسیون‌های دامنه DSB و SSB می‌پردازیم. به این منظور یک سیگنال پیام را به کمک این دو مدولاسیون، مدوله می‌کنیم. سپس سیگنال مدوله شده را دمدوله کرده و با سیگنال پیام اولیه مقایسه می‌کنیم.

در تمرین چهارم مدولاسیون زاویه FM را پیاده‌سازی می‌کنیم. در این بخش همچنین تقریب مدولاسیون NBFM و تفاوت آن را با مدولاسیون FM بررسی می‌کنیم.

توجه داشته باشید فقط از توابع آماده متلب که در صورت تمرین‌ها ذکر می‌شود می‌توانید استفاده کنید. سایر موارد خواسته شده را باید خودتان پیاده‌سازی کنید.

## تمرین ۱: پردازش سیگنال صوتی

همانطور که می‌دانید در سیستم‌های مخابراتی (بخصوص مخابرات بیسیم) با توجه به اینکه پهنای باندی که در اختیار ارسال کننده است محدود بوده و هر چه پهنای باند بیشتری بخواهد استفاده کند، معمولاً هزینه بیشتری نیز باید بپردازد ولی می‌تواند سیگنال پیام را با کیفیت بیشتری ارسال کند. در نتیجه اینجا یک trade-off خواهیم داشت.

سیگنال پیام می‌تواند صوتی، تصویری یا شامل هرگونه اطلاعات دیگر باشد، در اینجا از سیگنال صوتی به عنوان سیگنال پیام استفاده می‌کنیم.

### قسمت الف: مشاهده سیگنال در حوزه زمان و فرکانس

سیگنال پیام که با نام `m_t1.mp3` در پوشه تمرین کامپیوتری قرار داده شده را با استفاده از تابع آماده متلب `audioread` خوانده که سیگنال صوتی و فرکانس نمونه برداری را به شما می‌دهد. توجه داشته باشید فرکانس نمونه برداری  $F_s$  برابر با  $48000 \text{ sample/sec}$  است. سیگنال صوتی را ابتدا تقسیم بر ماکسیمم قدرمطلق مقدار خود  $\max(|m(t)|)$  کرده سپس با استفاده از تابع `sound` پخش کرده و بشنوید.

حال سیگنال را در حوزه زمان نمایش دهید (`plot` کنید).

در مورد تابع `fftshift` تحقیق کنید و کارکرد آن را مختصر توضیح دهید. حال با استفاده از تابع آماده `fft` و `fftshift` تبدیل فوریه سیگنال را بدست آورده و اندازه و فاز آن را بصورت جداگانه نمایش دهید.

بصورت دستی یا با استفاده از دستورهای مربوط در اندازه تبدیل فوریه زوم کرده و بیشترین فرکانس‌هایی که تبدیل فوریه سیگنال مقدار دارد را مشاهده کنید.

این کارها را برای سیگنال‌های `m_r1`, `m_r2`, `m_a1` نیز تکرار کنید و تفاوت آنها را بیان کرده و توضیح دهید.

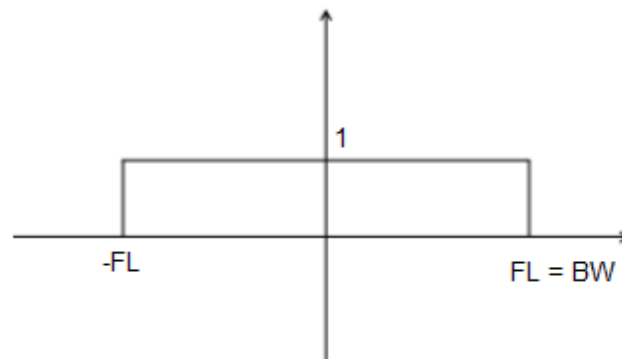
نکته: توجه داشته باشید محور زمان از صفر شروع شده و با توجه به تعداد کل سمپل‌های سیگنال و فاصله زمانی هر دو سمپل متوالی که  $T_s = \frac{1}{F_s}$  است، زمان هر سمپل و زمان پایان مشخص می‌شود.

نکته: با توجه به اینکه `fft` تبدیل فوریه گسسته است باید ملاحظات را در نظر گرفت. برخلاف بینهایت فرکانس که در تبدیل فوریه پیوسته داریم، در اینجا ماکسیمم فرکانس  $\pm \frac{F_s}{2}$  است و تعداد کل مولفه‌ها برابر با  $N$  تعداد کل سمپل‌ها در حوزه زمان است.

### قسمت ب: فیلتر کردن سیگنال

در این قسمت فقط از سیگنال `m_t1` استفاده کنید.

یک تابع بنویسید که یک سیگنال را به عنوان ورودی به همراه پهنای باند فیلتر ایده آل پایین‌گذر (شکل ۱-۱) دریافت کرده و سیگنال فیلتر شده را خروجی دهد. فیلتر ایده آل پایین‌گذر فیلتری است که در پهنای باند اندازه یک دارد و در خارج آن صفر است. (فاز هم صفر در نظر بگیرید).



شکل ۱-۱ فیلتر پایین‌گذر ایده آل با فرکانس قطع  $FL$  = پهنای باند  $BW$

با استفاده از تابعی که نوشته‌اید سیگنال را به ازای پهنای باند  $300\text{Hz}$ ,  $800\text{Hz}$ ,  $5\text{kHz}$ ,  $10\text{kHz}$  فیلتر کرده و سیگنال فیلتر شده را با استفاده از تابع `sound` پخش کرده و بشنوید. تغییرات ایجاد شده در سیگنال صوتی فیلتر شده با کاهش پهنای باند را توضیح دهید و بگویید صوت ساز ویولن در چه پهنای باندی کمتر و در چه پهنای باندی کلا شنیده نمی‌شود، چرا؟ آیا این اتفاق برای بقیه سازها نیز رخ می‌دهد؟

راهنمایی: هر ساز در یک محدوده فرکانسی صوت تولید میکند و برخی سازها عموماً محدوده فرکانس‌های پایین‌تر و برخی سازها عموماً محدوده فرکانس‌های بالاتر تولید میکنند.

در حوزه زمان از ثانیه  $2.1$  تا  $2.5$  سیگنال اصلی و سیگنال‌های فیلتر شده به ازای تمام پهنای باندهای ذکر شده را نمایش دهید. برای اینکار می‌توانید از دستور `xlim` استفاده کنید. اندازه و فاز تبدیل فوریه سیگنال‌های فیلتر شده را نیز گزارش کنید.

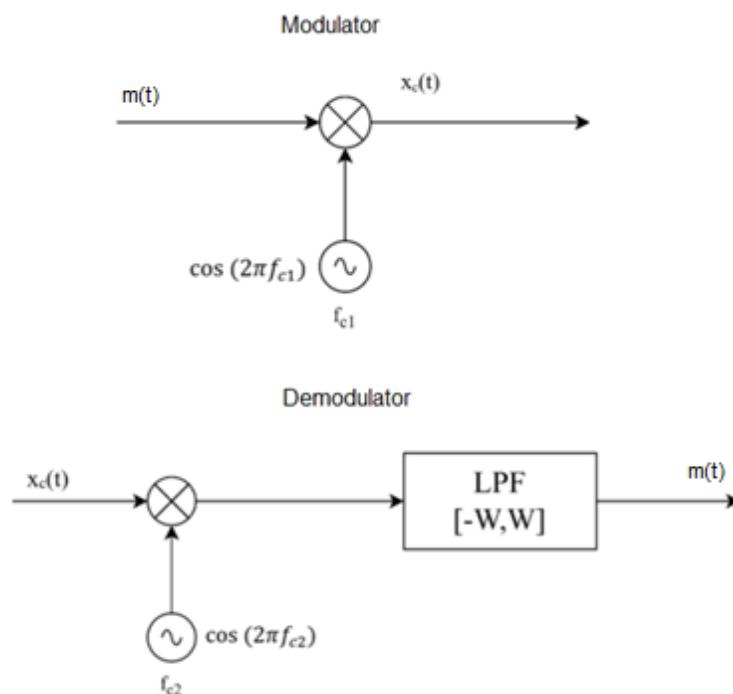
تذکر: در تمامی تمرین‌های تمرین کامپیوتری برای جلوگیری از شلوغی بیش از حد گزارش تمرین، از `subplot` بصورت ستونی ( `plot` دوم پایین `plot` اول قرار گیرد) استفاده کنید. همچنین می‌توانید بیش از دو `plot` را نیز در یک تصویر بیاورید ولی توجه کنید که `plot` ها واضح باشند در غیر اینصورت تعداد `subplot` ها را کاهش دهید.

## تمرین ۲: مدولاسیون دامنه DSB

در این تمرین به مدولاسیون و دمدولاسیون DSB می‌پردازیم.

### قسمت الف: مشاهده سیگنال در حوزه زمان و فرکانس

سیگنال `m_t2.mp3` را که در پوشه تمرین کامپیوتری قرار داده شده مطابق توضیح تمرین قبل خوانده، تقسیم بر ماکسیمم قدر مطلق مقدار خود کرده، پخش کرده و بشنوید. اندازه و فاز تبدیل فوریه را بدست آورده و گزارش کنید. در حوزه زمان نیز با استفاده از subplot کل سیگنال را که حدود ۶ ثانیه است و نیز از ثانیه ۲.۲ تا ۲.۷ سیگنال را در کنار هم نمایش دهید. برای اینکار می‌توانید از دستور `xlim` استفاده کنید.



شکل ۱-۲ مدولاتور و دمدولاتور DSB

### قسمت ب: مدولاتور DSB

ابتدا سیگنال را با استفاده از تابع تمرین قبل با پهنای باند ۵ کیلوهرتز فیلتر کرده و سیگنال حاصل را ابتدا بشنوید و از صحت آن مطمئن شده و سپس با استفاده از یک سیگنال کسینوسی با فرکانس حامل ۱۵ کیلوهرتز، سیگنال را با مدولاسیون DSB مدوله کنید. دامنه حامل  $A_c$  را ۲ در نظر بگیرید.

سیگنال فیلتر شده و مدوله شده را جداگانه هم در حوزه زمان و هم اندازه و فاز تبدیل فوریه آنها را رسم کنید.

حال با استفاده از `xlim` محور افقی (زمان) را در بازه ۱ تا ۱.۳ ثانیه محدود کرده و سیگنال‌های ذکر شده را در این بازه نیز مشاهده و گزارش کنید.

## قسمت ج: دمدولاتور DSB

سیگنال مدوله شده قسمت قبل را با استفاده از آشکارساز سنکرون (شکل ۱-۲) با فرکانس حامل ۱۵ کیلوهرتز و هم فاز با سیگنال مدوله شده (ارسالی) دمدوله کنید. با استفاده از subplot سیگنال پیام فیلتر شده، سیگنال مدوله شده، سیگنال پس از ضرب کسینوس در آن و در آخر سیگنال دمدوله شده (پس از فیلتر پایین‌گذر) را در حوزه زمان از ثانیه ۱ تا ۱.۳ ثانیه مشاهده کنید. همچنین اندازه تبدیل فوریه سیگنال‌های ذکر شده را نیز مشاهده و گزارش کنید. سیگنال دمدوله شده را بصورت صوتی بشنوید و از صحت آن اطمینان حاصل کنید.

**بررسی تاثیر اختلاف فاز:** سیگنال کسینوسی که در آشکارساز استفاده کردید، حال به ترتیب اختلاف فازهای  $\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2.04}, \frac{\pi}{2.25}, \frac{\pi}{4}$  نسبت به سیگنال مدوله شده را به آن اضافه کرده و سپس دمدولاسیون را انجام دهید. در حوزه زمان و فرکانس چهار سیگنال ذکر شده در قسمت قبل را گزارش کنید و تفاوت را توضیح دهید. سپس با شنیدن سیگنال دمدوله شده به ازای هر اختلاف فاز بصورت کیفی تغییرات را بشنوید و توصیف کنید.

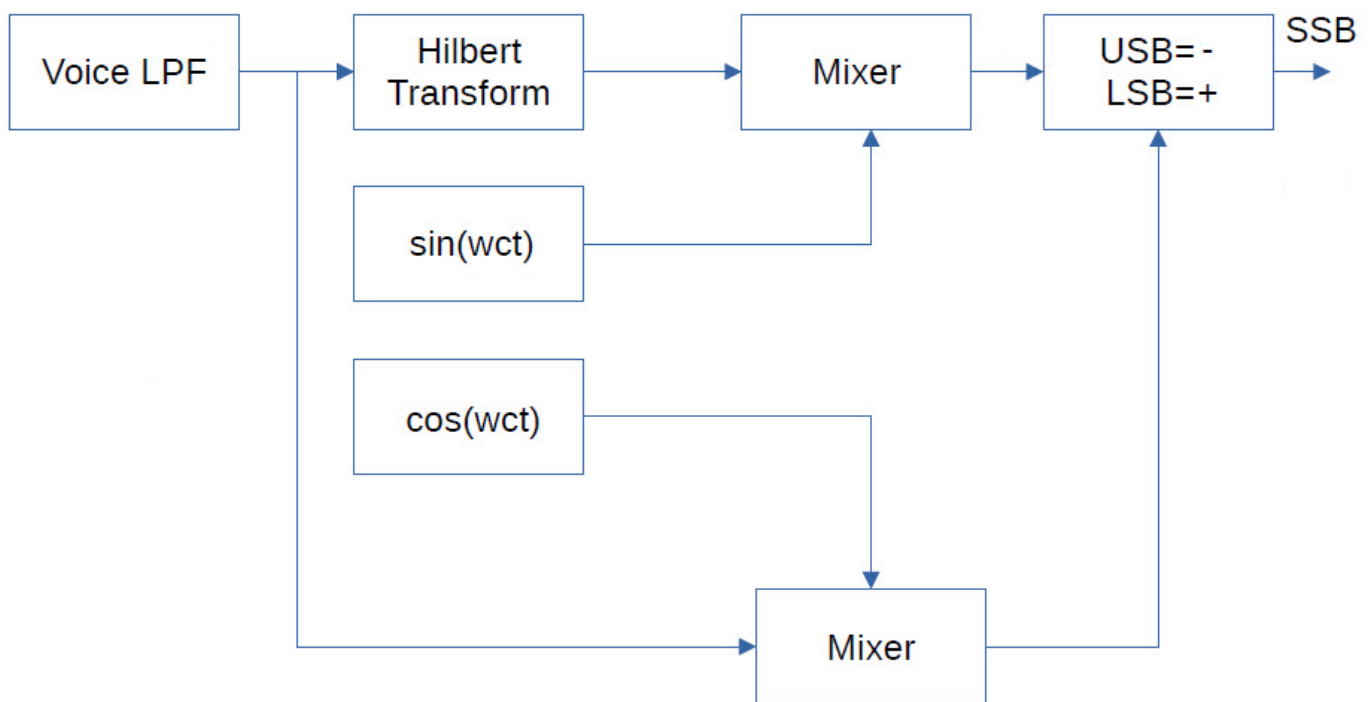
**بررسی تاثیر اختلاف فرکانس:** سیگنال کسینوسی که در آشکارساز استفاده کردید، حال به ترتیب اختلاف فرکانس‌های ۰.۰۱٪، ۰.۱٪، ۱٪، ۵٪ و ۱۰٪ درصد فرکانس حامل را ایجاد کرده و سپس دمدولاسیون را انجام دهید. در حوزه زمان و فرکانس چهار سیگنال ذکر شده در قسمت قبل را گزارش کنید و تفاوت را توضیح دهید. سپس با شنیدن سیگنال دمدوله شده به ازای هر اختلاف فرکانس بصورت کیفی تغییرات را بشنوید و توصیف کنید.

**تمرین ۳: مدولاسیون دامنه SSB**

در این تمرین به مدولاسیون و دمدولاسیون SSB می‌پردازیم.

سیگنال پیام استفاده شده در تمرین قبل را برای این تمرین نیز استفاده کنید.

ابتدا مطابق شکل ۳-۱ سیگنال را با فرکانس حامل ۱۵ کیلوهرتز و  $A_c=4$  با مدولاسیون USB و LSB مدوله کنید. برای دمدوله کردن نیز از آشکارساز سنکرون که در تمرین قبل به کار بردید استفاده کرده و تمامی موارد خواسته شده در تمرین قبل به جز قسمت‌های بررسی تاثیر اختلاف فاز و اختلاف فرکانس را بدست آورده و نتایج را مشابه تمرین قبل گزارش کنید.



شکل ۳-۱ مدولاتور SSB



**تمرین ۴: مدولاسیون زاویه FM**

در این تمرین نیز از سیگنال پیام m\_t2.mp3 استفاده کنید.

سیگنال پیام را با مدولاسیون FM مطابق رابطه زیر مدوله کنید. فرکانس حامل را ۱۵ کیلوهرتز و دامنه حامل ۱ در نظر بگیرید.

$$x_{c\_FM} = A_c \cos(2\pi f_c t + 2\pi f_\Delta \int m(\lambda) d\lambda)$$

حال سیگنال پیام را با تقریب باند باریک NBFM مطابق رابطه زیر مدوله کنید. فرکانس و دامنه حامل مشابه قبل باشد.

$$x_{c\_NBFM} = A_c \cos(2\pi f_c t) - A_c 2\pi f_\Delta \int m(\lambda) d\lambda \sin(2\pi f_c t)$$

ثابت انحراف فرکانس  $f_\Delta$  را ۰.۱، ۲۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ قرار داده و mse “mean squared error” سیگنال مدوله شده FM و سیگنال مدوله شده با تقریب باند باریک NBFM در هر حالت محاسبه کرده و گزارش کنید.

همچنین مشابه تمرین‌های قبل سیگنال پیام قبل از مدوله شدن و پس از مدوله شدن با FM و تقریب NBFM در حوزه زمان و فرکانس (اندازه و فاز تبدیل فوریه) هر کدام را نیز به ازای هر ثابت انحراف فرکانس گزارش کنید.

## نکات مربوط به تمرین کامپیوتری و گزارش آن

۱- مهلت تحویل این تمرین ۳۰ آذر ماه ۱۴۰۳ است.

۲- انجام این تمرین بصورت انفرادی است و تنها مجاز به استفاده از MATLAB هستید.

۲- در هر بخش از گزارش، روابط مورد نیاز و توضیحات مربوط به پیاده‌سازی (کد) به کامل بودن گزارش شما کمک می‌کند.

۳- تمامی نتایج را تحلیل و توضیحات لازم را ارائه کنید. (حتی اگر در صورت تمرین خواسته نشده باشد!)

۴- نیازی به قرار دادن کدها در گزارش نیست ولی حتما در فایل کدهای خود کامنت به مقدار کافی گذاشته که به راحتی قسمت‌های مختلف کد شما قابل فهم باشد و پارامترهای مختلف مورد استفاده کاملا مشخص باشند.

۵- برای انجام تمرین کامپیوتری می‌توانید در صورت نیاز با دوستان خود مشورت کنید و یا از مطالب مربوط در سایت‌های مرتبط کمک بگیرید ولی حتما خودتان باید کد را نوشته (به سبک خودتان) و کامنت به خوبی گذاشته باشید و در گزارش تحلیل خودتان را ارائه کنید. در صورت مشاهده تقلب نمره تمرین کامپیوتری تمامی افراد شرکت کننده در آن **صفر** می‌گردد.

۶- فایل کد متلب تمرین به همراه گزارش آن (و تمامی فایل‌های مورد نیاز) را در یک پوشه (با فرمت نام ذکر شده) قرار داده و در قالب یک فایل زیپ با فرمت نام "CA#1\_your name\_student number" در ایلرن بارگذاری کنید. در صورت رعایت نکردن هر یک از این موارد نمره کسر می‌گردد.

۷- توجه داشته باشید فقط از توابع آماده متلب که در صورت تمرین‌ها ذکر می‌شود می‌توانید استفاده کنید. سایر موارد خواسته شده را باید خودتان پیاده‌سازی کنید. (در غیر این صورت نمره نخواهد داشت)

۸- پس از اتمام مهلت تحویل این تمرین تا یک هفته دیگر می‌توانید بارگذاری کنید ولی نمره شما بصورت خطی (هر ساعت) کاهش پیدا میکند و پس از یک هفته صفر می‌شود.

۹- متون فارسی با فونت B Nazanin – 14 و متون انگلیسی با فونت Times New Roman – 13 نوشته شود.

۱۰- در صورت وجود هر گونه ابهام یا مشکل می‌توانید در گروه تلگرام با طراح پروژه در تماس باشید:

• علی شکوهی فر: @Ali\_Shokouhi7