



تمرین کامپیوتری سری دوم  
سیستم های مخابراتی  
دکتر بهروزی

دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی برق  
بهار ۱۴۰۴  
ID : @SaraSaneiii

توجه: در فرایندهای مدولاسیون و دمدولاسیون مجاز به استفاده از توابع آماده نیستید مگر در موارد ذکر شده.

## ۱ مدولاسیون دامنه

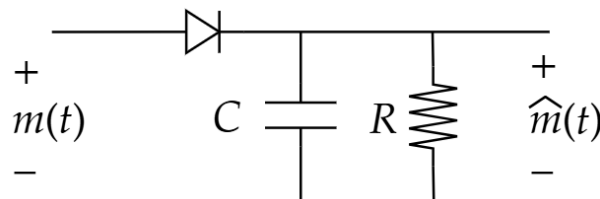
(قسمت های ۷ تا ۱۱ که با \* مشخص شده اند برای گروه های دو نفره اجباری است)  
ابتدا سیگنال پیام  $m(t)$  که حاوی اطلاعات ارسالی است را می سازیم:

$$m(t) = e^{-6t} (u(t-4) - u(t-8)) + e^{6t} (u(-t-4) - u(-t-8))$$

۱. سیگنالی که تولید کردید را در حوزه زمان و فرکانس رسم کنید و پهنای باند آن را بدست آورید. سیگنال را با نرخ مناسب نمونه برداری کنید. توضیح دهید این عدد چگونه بدست می آید.

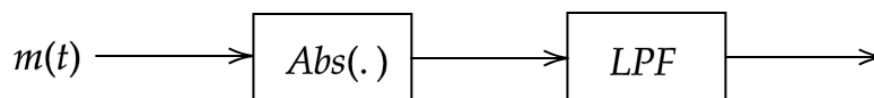
۲. با انتخاب پارامترهای مناسب به کمک روش مدولاسیون  $AM$  سیگنال را مدوله کنید. سیگنال مدوله شده و طیف آنها را رسم کنید.

۳. ساده ترین مدار آشکارساز پوش به شکل زیر است. ثابت زمانی را معرفی کنید و اثر بزرگی و کوچکی آن را روی خروجی مدار توضیح دهید. به نظر شما سری کردن یک مقاومت با دیود چه تاثیری بر خروجی دارد؟



تابعی بنویسید که با گرفتن سیگنال ورودی و ثابت زمانی و مقدار اولیه خروجی، سیگنال خروجی دمدوله شده را تولید کند.

۴. در روشی دیگر برای استخراج سیگنال پیام اصلی، یک فرآیند دو مرحله ای انجام می شود:

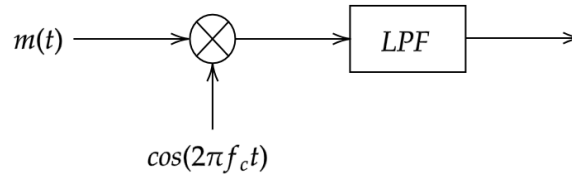


این مراحل، پوش سیگنال  $AM$  را بازیابی کرده و تقریبی از  $m(t)$  ارائه می دهند. (برای فیلتر پایین گذر می توانید از فیلتر

باترورت استفاده کنید)

سیگنال بازیابی شده را در هر مرحله (پس از یکسوسازی و گذراندن از فیلتر) در حوزه‌های زمان و فرکانس رسم کنید. این سیستم تحت چه شرایطی می‌تواند به درستی پوش را آشکار کند؟

۵. حال بازیابی را به کمک روش *detection coherent* انجام دهید و سیگنال بازیابی شده را در حوزه زمان و فرکانس رسم کنید.



۶. به کمک دستور *amdemod* سیگنال را دمدوله کنید. و در حوزه زمان و فرکانس رسم کنید. خروجی تولید شده را با سه روش پیاده شده در قسمت‌های ۳، ۴ و ۵ و همچنین سیگنال اصلی مقایسه کنید. خروجی کدام یک به خروجی دستور آماده متلب شباهت بیشتری دارد؟ دقت کدام روش بیشتر است؟

۷. \* با انتخاب پارامترهای مناسب به کمک روش *Double Sideband Supressed Career (DSB-SC)* سیگنال ورودی را مدوله کنید. سیگنال مدوله شده و طیف آن را رسم کنید.

سپس به کمک روش *coherent demodulation* آن را دمدوله کنید و در حوزه زمان و فرکانس رسم کنید.

۸. \* سیگنال اولیه را به کمک روش *Upper Single Side Band (USSB)* مدوله کنید و در حوزه زمان و فرکانس رسم کنید. سپس به کمک روش *coherent demodulation* آن را دمدوله کنید و در حوزه زمان و فرکانس رسم کنید. خروجی‌های خود را با خروجی توابع *ssbmod* و *ssbdemod* مقایسه کنید.

۹. \* قسمت قبل را برای روش *Lower Single Side Band (LSSB)* تکرار کنید.

۱۰. \* سیگنال اصلی و خروجی‌های *AM* و *DSB-SC* و *USSB* و *LSSB* را مقایسه کنید و دلیل تفاوت‌ها را توضیح دهید. مزایا و معایب هر روش را توضیح دهید.

۱۱. \* صدای خود را ضبط کنید. (فرمت `.wav` - برای ضبط سیگنال می‌توانید به روش زیر عمل کنید) حال سیگنال صحبت خود را با روش استفاده شده در قسمت ۲ به شکل *AM* مدوله کنید و طیف آن را رسم کنید. سپس با سه روش بررسی شده در سوال آن را دمدوله کنید و خروجی‌ها را با هم مقایسه کنید. (با تعریف یک *object* از خانواده *audiorecorder* و استفاده از آرگومان‌ها و توابع مناسب این *object*، صدای خود را با فرکانس نمونه برداری ۴۰۰۰۰ هرتز و ۱۶ بیتی و به شکل تک کاناله ضبط کنید. محتوای این ویس باید شامل نام و نام خانوادگی شما و شماره دانشجوییتان باشد. ممکن است برای انجام این بخش مجبور به استفاده از بخش *window command* متلب بشوید. در این صورت کافی است خلاصه‌ای از شبه کد خود را در گزارش بنویسید. صدای ضبط شده خود را هم به شکل *wav* و هم به شکل *mat* ذخیره کنید).

## ۲ مدولاسیون فرکانس

در این سوال می‌خواهیم پیام اصلی را به کمک سه روش از روی سیگنال مدوله شده به کمک مدولاسیون فرکانس ( $FM$ ) استخراج کنیم. پیام ارسال شده  $m(t)$  به صورت زیر است:

$$m(t) = \sin(25\pi t) \quad (0 \leq t \leq 1)$$

۱. این پیام را نمونه برداری کنید ( $f_s = 10 \text{ kHz}$ ) و سیگنال  $FM$  را با مقادیر زیر را رسم کنید.

$$x_c(t) = A_c \cos \left( 2\pi f_c t + 2\pi f_\Delta \int_0^t m(\tau) d\tau \right), \quad (A_c = 1, f_c = 200 \text{ Hz}, f_\Delta = 30 \frac{\text{Hz}}{\text{V}})$$

۲. به کمک دستورهایی  $detrend$  و  $hilbert$  پیام را به صورت ایده آل بازیابی کنید.

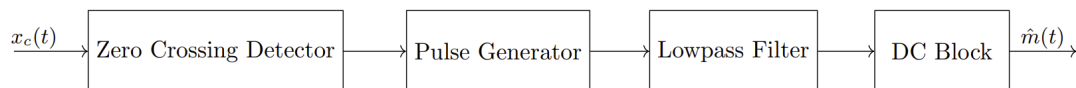
۳. با مشتق گرفتن از سیگنال  $x_c(t)$  داریم:

$$x_d(t) = \frac{dx_c(t)}{dt} = -A_c (2\pi f_c t + 2\pi f_\Delta \int_0^t m(\tau) d\tau) \sin \left( 2\pi f_c t + 2\pi f_\Delta \int_0^t m(\tau) d\tau \right)$$

اگر تغییرات فرکانسی سیگنال  $\sin \left( 2\pi f_c t + 2\pi f_\Delta \int_0^t m(\tau) d\tau \right)$  ناشی از پیام  $m(t)$  در مقایسه با فرکانس حامل  $f_c$  نادیده گرفته شود (یعنی  $0 \approx \frac{f_\Delta m(t)}{f_c}$ ) می‌توان این سیگنال را به عنوان یک سیگنال  $AM$  در نظر گرفت که پوش آن حاوی پیام موردنظر است.

پیام را با استفاده از آشکارساز پوش که در مسئله اول ساخته شده است، بازیابی کنید. برای این کار، مقادیر مقاومت و خازن را تغییر داده و تأثیر آن‌ها بر کیفیت بازیابی سیگنال را تحلیل کنید.

۴. می‌توانیم پیام را از سیگنال  $FM$  با استفاده از آشکارساز عبور از صفر ( $Zero Crossing Detector$ ) استخراج کنیم. این روش بر این اصل استوار است که مقدار پیام بر فرکانس لحظه‌ای سیگنال  $FM$  تأثیر می‌گذارد. هنگامی که مقدار پیام زیاد باشد، فرکانس لحظه‌ای نیز زیاد خواهد بود. هنگامی که مقدار پیام کم باشد، فرکانس لحظه‌ای نیز کاهش می‌یابد. بنابراین، می‌توانیم فرکانس سیگنال را با شمارش تعداد دفعاتی که از صفر عبور می‌کند، تخمین بزنیم. یک سیگنال با فرکانس بالا دارای عبور از صفر بیشتری نسبت به یک سیگنال با فرکانس پایین خواهد بود. بلوک دیگرام زیر نشان می‌دهد که چگونه می‌توان با استفاده از یک آشکارساز عبور از صفر، پیام را از سیگنال  $FM$  استخراج کرد.



این بلوک را می‌توان با مشتق‌گیری از سیگنال و اعمال تابع علامت ( $\text{sign}(x_c(t))$ ) پیاده‌سازی کرد. سپس مقدار مطلق نتیجه را محاسبه کرده و مکان‌هایی که سیگنال از صفر عبور می‌کند، استخراج می‌کنیم. خروجی این بلوک باید ۱ باشد زمانی که عبور از صفر رخ می‌دهد و در غیر این صورت ۰ باشد. سپس، یک تولیدکننده پالس  $Pulse Generator$  برای هر عبور از صفر، یک پالس مستطیلی کوتاه‌مدت تولید می‌کند. بدین ترتیب، می‌توانیم پیام را از سیگنال  $FM$  بازیابی کنیم.

۵. در یک نمودار سیگنال پیام و سیگنال بازیابی شده به کمک سه روش و همچنین سیگنال بازیابی شده به کمک تابع  $fmdemod$  را رسم کنید و مقایسه کنید.

### ۳ مدولاسیون فاز

سیگنال پیام  $m(t)$  را در نظر بگیرید.

$$m(t) = \begin{cases} 1 - \left| \frac{t}{T_a} \right| & |t| \leq T_a \\ 0 & otherwise \end{cases}, \quad T_a = 0.01$$

۱. سیگنال اصلی، سیگنال مدوله شده به روش  $PM$  و سیگنال دمدوله شده را در حوزه زمان رسم کنید.

۲. طیف سیگنال‌های بخش قبل را رسم کنید و محتوای فرکانسی آن‌ها را بررسی کنید.

۳. حال به کمک توابع  $pmdemod$  و  $pmmmod$  مدولاسیون و دمدولاسیون را انجام دهید و آن‌ها را در حوزه زمان و فرکانس رسم کنید و با نتایج قسمت قبل مقایسه کنید.

۴. مشاهدات خود را توضیح دهید. سیگنال تا چه حد به خوبی بازیابی شده است؟ آیا به دلیل فیلترینگ، اطلاعاتی از دست رفته است؟ تأثیر جداسازی باند کناری بالایی یا پایینی بر یکپارچگی سیگنال چیست؟