



دانشکده فنی دانشگاه تهران

دانشکده برق و کامپیوتر

پروژه 3 اصول سیستم های مخابراتی

FM & PM

(Transmitter – Receiver – Single Tone Modulation)

دستیاران آموزشی:

اویس دل افروز - اشکان جعفری

نیم سال اول 1400-1401

-
- شما باید کدها و گزارش خود را با الگوی CA1_StudentNumber.zip در محل تعیین شده آپلود کنید.
 - گزارش کار شما جزو معیار های ارزیابی خواهد بود ؛ در نتیجه زمان کافی برای تکمیل آن اختصاص دهید.
 - لطفا گزارش خود را در قالب قرار داده شده در صفحه درس بنویسید.
 - قسمت اصلی کد شما باید در محیط Matlab live editor نوشته شود و نمودار ها علاوه بر گزارش کار باید در کد اصلی نیز قرار داشته باشند.
 - شما میتوانید سوالات خود را از طریق گروه واتسپ کلاس یا ایمیل دستیاران مربوطه مطرح کنید.
-

❖ فرستنده (Transmitter)

• مدولاسیون فاز

- 1) تابعی به نام $pm()$ پیاده سازی کنید که سیگنال پیام، فرکانس و دامنه حامل، Φ_{Δ} (و سایر ورودی های مورد نیاز) را به عنوان ورودی بپذیرد و سیگنال مدوله شده به روش PM را خروجی بدهد.
- 2) تابعی به نام $nbpm()$ بنویسید که با گرفتن ورودی های یکسان با تابع $pm()$ (و سایر ورودی های مورد نیاز) سیگنال مدوله شده با تقریب باند باریک یا همان روش NBPM خروجی بدهد.
- 3) حال مقادیر زیر را به عنوان ورودی به دو تابع بالا بدهید و خروجی ها را ترسیم کنید. سپس میانگین مربع خطای NBPM را نسبت به PM محاسبه کنید.

$$m(t) = \sin(\pi t), \quad t \in [0, 10], \quad f_s = 10 \text{ kHz}$$

$$A_c = 1, \quad f_c = 100 \text{ Hz}, \quad \Phi_{\Delta} = 10$$

- 4) قسمت 3 را به ازای $\Phi_{\Delta} = 0.01$ تکرار کنید. خطای به دست آمده را با خطای قسمت 3 مقایسه و تفاوت آن را توجیه کنید.
- 5) این بار از تابع آماده متلب ($pmmode$) برای مدولاسیون PM استفاده کنید و مقادیر بخش های 3 و 4 را به عنوان ورودی به تابع بدهید. در نهایت نمودار های خروجی را رسم کنید. شکل خروجی را با تابعی که خودتان پیاده سازی کرده بودید مقایسه کنید.
- 6) میانگین مربع خطا را فقط به ازای ورودی های بخش 3 و بین خروجی های دو تابع $pmmode()$ و $pm()$ گزارش کنید.

• مدولاسیون فرکانس

- 7) این بار تابعی با نام های $fm()$ و $nbfm()$ پیاده سازی کنید که سیگنال پیام، فرکانس و دامنه حامل، f_{Δ} (و سایر ورودی های مورد نیاز) را به عنوان ورودی بپذیرند و به ترتیب سیگنال های مدوله شده به روش FM و تقریب باند باریک یا همان روش NBFM را خروجی دهند.
- راهنمایی. برای پیاده سازی این توابع می توانید از توابع $pm()$ و $nbpm()$ که پیشتر پیاده سازی کردید، کمک بگیرید. می دانیم که مدولاتور های FM و PM قابل تبدیل به یک دیگر هستند.

- 8) حال مقادیر زیر را به عنوان ورودی به توابع $fm()$ و $nbfm()$ بدهید و خروجی ها را ترسیم کنید. سپس میانگین مربع خطای NBFM را نسبت به FM محاسبه کنید.

$$m(t) = \sin(\pi t), \quad t \in [0, 10], \quad f_s = 10 \text{ kHz}$$

$$A_c = 1, \quad f_c = 100 \text{ Hz}, \quad f_{\Delta} = 10$$

- 9) قسمت 8 را برای به ازای $f_{\Delta} = 0.01$ تکرار کنید و خطای به دست آمده را با قسمت 8 مقایسه کنید و تفاوت را توجیه کنید.

10) این بار از تابع آماده متلب (fmmod) برای مدولاسیون FM استفاده کنید. و مقادیر قسمت های 8 و 9 را به عنوان ورودی بدهید را به این تابع ورودی بدهید و شکل نمودار های خروجی را رسم کنید. شکل خروجی را با توابعی که خودتان پیاده سازی کرده بودید، مقایسه کنید.

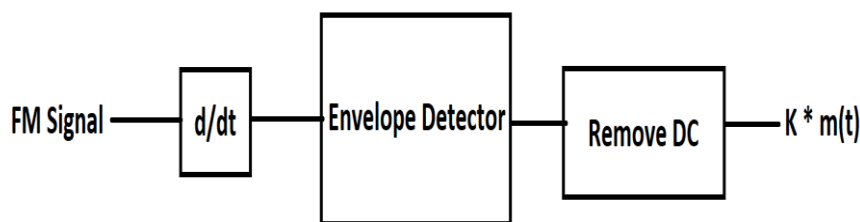
11) میانگین مربع خطا را به ازای مقادیر ورودی بخش 8 برای دو تابع fm() و fmmode() گزارش کنید.

12) حال f_{Δ} و Φ_{Δ} را در بازه $[0,1]$ (با طول گام دلخواه و به اندازه کافی کوچک) تغییر دهید و میانگین مربع خطا را برای دو مدولاسیون عادی و باند باریک محاسبه کنید (استفاده از توابع آماده متلب برای مدولاسیون مجاز نیست). با فرض اینکه حداکثر خطای مورد پذیرش 1 درصد باشد، بیشینه f_{Δ} و Φ_{Δ} را گزارش کنید.

❖ گیرنده

• مدولاسیون فرکانس

در این بخش قصد داریم دمدولاسیون سیگنال مدوله شده توسط فرستنده را پیاده سازی کنیم. یکی از روش های آشکار سازی سیگنال FM در بلوک دیاگرام زیر تشریح شده است. (فرض کنید مقدار DC پیام اولیه صفر باشد).



راهنمایی. برای محاسبه عددی انتگرال می توان از روش [Trapezoidal](#) استفاده کرد. در این روش سطح زیر نمودار به قسمت هایی تقسیم می شود و مقدار انتگرال با مساحت این قسمت ها تقریب زده می شود. بدیهی است که با افزایش تعداد داده های انتخابی (همان فرکانس نمونه برداری)، دقت این روش افزایش می یابد. نمونه ای از عملکرد این روش و همچنین روابط مربوطه برای $N+1$ نقطه با فواصل مساوی در زیر آورده شده است:

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{b-a}{N} \sum_{n=1}^N f(x_n) + f(x_{N+1})$$

1) می دانیم که خروجی مدار بالا ضربی از پیام است. با نوشتن روابط ریاضی بلوک دیاگرام بالا به ازای یک پیام دلخواه $m(t)$ ، این ضریب را گزارش کنید.

2) تابعی به نام $f_{dm}()$ بنویسید که سیگنال FM، فرکانس و دامنه حامل، f_{Δ} و فرکانس نمونه برداری (و سایر ورودی های مدنظر خودتان) را ورودی بگیرد. و به روش بلوک دیاگرام ترسیم شده، پیام آشکار شده را خروجی بدهد. دقت کنید که خروجی نباید ضربی از پیام باشد. و باید خروجی را مطابق ضربی که در بخش 1 بیان کردید تصحیح کنید.

3) حال خروجی تابع $fm()$ در قسمت 8 از بخش فرستنده را به تابع $fdm()$ ورودی بدهید و خروجی را با سیگنال پیام اولیه مقایسه کنید.

4) این بار از تابع آماده متلب یعنی $fmdemod()$ برای دمدولاسیون کمک بگیرید و قسمت 3 را تکرار کنید. خروجی را با خروجی تابع $fdm()$ خود مقایسه کنید.

راهنمایی 1. برای پیاده سازی مشتق می توانید از تعریف مشتق استفاده کنید.

راهنمایی 2. برای پیاده سازی آشکارساز پوش می توانید از تابع $envelope()$ در متلب استفاده کنید.

• مدولاسیون فاز

5) اگر بخواهیم از بلوک دیاگرام قسمت قبل برای آشکارسازی سیگنال PM استفاده کنیم، چه بلوکی باید به انتهای آن اضافه کنیم؟ بلوک دیاگرام پیشنهادی خود را در گزارش کارتان رسم کنید و روابط ریاضی آن برای آشکارسازی سیگنال PM بنویسید. اگر ضریبی از پیام در خروجی وجود داشت این ضریب را گزارش کنید.

6) با شبیه سازی این بلوک جدید و به کمک تابع $fdm()$ ، تابعی به نام $pdm()$ پیاده سازی کنید که سیگنال PM، فرکانس و دامنه حامل، Φ_{Δ} و فرکانس نمونه برداری (و سایر ورودی های مورد نیاز) را به عنوان ورودی بگیرد و سیگنال پیام اولیه را خروجی بدهد. دقت کنید که خروجی نباید ضریبی از پیام باشد. و باید خروجی را مطابق ضریبی که در بخش 5 بیان کردید تصحیح کنید.

7) حال خروجی تابع $pm()$ در قسمت 3 از بخش فرستنده را به تابع $pdm()$ ورودی بدهید و خروجی را با سیگنال پیام اولیه مقایسه کنید.

8) این بار از تابع آماده متلب یعنی $pmdemod()$ برای دمدولاسیون کمک بگیرید و قسمت 7 را تکرار کنید. خروجی را با خروجی تابع $pdm()$ مقایسه کنید.

9

❖ مدولاسیون تک تن

سیگنال پیامی که تنها دارای یک فرکانس خاص باشد و با استفاده از مدولاتورهای فرکانس/فاز مدوله شود، سیگنال مدوله شده تک-تن نامیده خواهد شد. برای مثال برای یک پیام سینوسی با اندیس مدولاسیون β ، سیگنال مدوله شده، به صورت زیر بدست خواهد آمد.

$$x_c(t) = A_c \cos(w_c t + \beta \sin(w_m t)) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_c J_n(\beta) \cos(2\pi(f_c + n f_m)t)$$

همان طور که میدانید، با افزایش مرتبه تابع بسل، برای یک سیگنال باند-باریک ($\beta < 1$) مقدار تابع بسل به صفر میل می کند. از این جهت در بسط بالا لزومی به محاسبه تمامی جملات نمی باشد. از طرف دیگر میدانیم با افزایش مقدار β اندازه توابع بسل مرتبه بالاتر افزایش یافته و دیگر قابل چشم پوشی نخواهند بود.

1) پیام $m(t) = \sin(20\pi t)$ را با برای $\beta = 0.1, 1, 10$ مدوله کنید و طیف فرکانسی خروجی ها را بر حسب

هرتز رسم نمایید. در نهایت علت گسترده شدن پهنای فرکانسی را توضیح دهید.

راهنمایی. برای بهتر دیده شدن طیف، نمودار را در بازه $[-500Hz, 500Hz]$ رسم کنید.

(2) با توجه به پهنای باند تقریبی سیگنال مدوله شده، N را به گونه ای انتخاب کنید تا بتوان بسط تابعی سیگنال را به صورت زیر تقریب زد، سپس برای اندیس های مدولاسیون بند 1 با استفاده از بسط زیر سیگنال را مدوله کرده و طیف فرکانسی آن را رسم نمایید. طیف های رسم شده در بخش 1 را با بخش 2 مقایسه کنید. برای اینکار توصیه میشود دو طیف را در یک نمودار رسم و تحلیل نمایید.

موفق باشید.