



# دانشکده فنی دانشگاه تهران

دانشکده برق و کامپیوتر

---

پروژه 2 اصول سیستم‌های مخابراتی 1

Amplitude Modulation

---

دستیار آموزشی مربوطه:

Darya Afzali

[darya.afzali@ut.ac.ir](mailto:darya.afzali@ut.ac.ir)

نیم سال اول 1400-1401

- 
- شما باید کدها و گزارش خود را با الگوی CA2\_StudentNumber.zip ، در محل تعیین شده، آپلود کنید.
  - گزارش کار شما اصلی‌ترین معیار ارزیابی خواهد بود ؛ در نتیجه زمان کافی برای تکمیل آن اختصاص دهید.
  - لطفاً، گزارش خود را در قالب قرار داده شده در صفحه‌ی درس بنویسید.
  - قسمت اصلی کد شما باید در محیط Matlab Live Editor نوشته شود و نمودارها، علاوه بر گزارش کار، باید در کد اصلی نیز قرار داشته باشند.
  - شما می‌توانید سوالات خود را از طریق گروه واتس‌آپ کلاس یا ایمیل، در میان بگذارید.
-

## بخش اول: مدولاسیون دامنه از نوع متعارف

همانطور که در درس آموختیم، مدولاسیون دامنه از نوع متعارف<sup>1</sup> ساده‌ترین نوع مدولاسیون دامنه است.

تابعی بنویسید که سیگنال پیام  $x_m(t)$ ، دامنه موج حامل  $A_c$ ، اندیس مدولاسیون  $\mu$  و فرکانس موج حامل  $f_c$  را به عنوان خروجی بگیرد و سیگنال مدوله شده را بازگرداند.

حال، سیگنال پیام را به صورت زیر در نظر بگیرید:

$$x_m(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < \frac{t_0}{3} \\ -2 & \frac{t_0}{3} \leq t < \frac{2t_0}{3} \\ 0 & o.w. \end{cases}$$

سیگنال پیام را با فرکانس  $f_c = 250 \text{ Hz}$ ،  $\mu = 0.85$  و  $t_0 = 0.15$  مدوله کنید و سیگنال مدوله شده را رسم نمایید.

طیف مربوط به سیگنال پیام و سیگنال مدوله شده را رسم نمایید.

اگر سیگنال پیام متناوب با دوره تناوب  $t_0$  باشد، توان و بازدهی مدولاسیون<sup>2</sup> را برای سیگنال مدوله شده، محاسبه نمایید.

با استفاده از تابع `ammod`، خواسته‌ی دوم را تکرار کنید و نحوه‌ی استفاده از آن را در خصوص این سوال، بیان نمایید.

## بخش دوم: مدولاسیون‌های DSB و SSB

سیگنال پیام  $m(t)$  به صورت زیر تعریف شده است. از سیگنال پیام، در بازه‌ی  $[-5, 5]$  با فرکانس  $600 \text{ Hz}$  نمونه‌برداری کنید.

$$m(t) = \text{sinc}^2(30t)$$

سیگنال پیام را در حوزه زمان بر حسب ثانیه و تبدیل فوریه آن را بر حسب هرتز رسم نمایید.

\*\*راهنمایی: هنگام نمونه‌برداری از یک سیگنال پیوسته، سیگنال گسسته‌ای حاصل می‌شود. در رابطه‌ی 1، ارتباط میان تبدیل‌های فوریه سیگنال پیوسته و سیگنال نمونه‌برداری شده‌اش در زمان گسسته، آمده است که در آن،  $T_s$  دوره تناوب نمونه‌برداری،  $\omega$  فرکانس زاویه‌ای تبدیل فوریه‌ی گسسته و  $\Omega$  فرکانس زاویه‌ای تبدیل فوریه‌ی پیوسته بر حسب  $\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right]$  است.

$$X_{con}(j\Omega) = T_s X_{dis}(e^{j\omega}) \text{rect}\left(\frac{\omega}{2\pi}\right) \quad |_{\omega=\Omega T_s}$$

تابعی بنویسید که سیگنال پیام  $m(t)$ ، دامنه موج حامل  $A_c$  و فرکانس موج حامل  $f_c(t)$  را به عنوان ورودی بگیرد و خروجی حاصل از مدولاسیون DSB را بازگرداند.

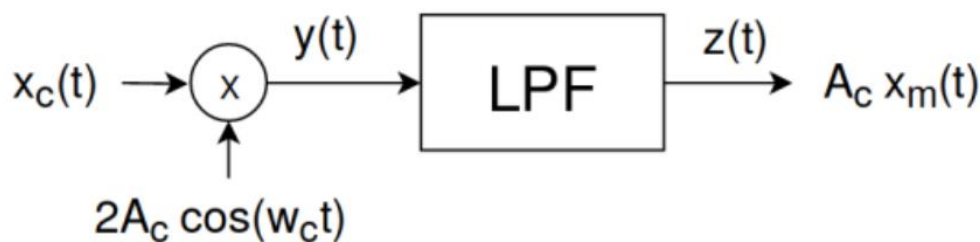
به کمک تابع بخش قبل، سیگنال پیام را با فرکانس‌های  $f_c = \{50, 200\}$  مدوله کنید و خروجی‌ها را رسم نمایید. در مرحله‌ای دیگر، سیگنال پیام را با فرکانس‌های  $f_c = \{600, 1200\}$  مدوله کنید و خروجی‌ها را رسم کنید. بالاترین فرکانس قابل استفاده‌ی موج حامل را، همراه با استدلال تعیین نمایید.

<sup>1</sup> Conventional Amplitude Modulation

<sup>2</sup> Modulation Efficiency

سیگنال پیام را با  $f_c = 100 \text{ Hz}$  و  $A_c = 1$  مدوله کنید و تبدیل فوریه سیگنال خروجی را بر حسب هرتز رسم نمایید.

تابعی بنویسید که سیگنال مدوله شده  $x_c(t)$ ، دامنه موج حامل  $A_c$  و فرکانس موج حامل  $f_c$  را به عنوان ورودی بگیرد و سیگنال پیام را استخراج کند. برای دمدولاسیون پیام، می‌توانید از دیاگرام شکل 1 استفاده کنید. برای اعمال فیلتر پایین‌گذر، می‌توانید از تابع lowpass استفاده کنید.



شکل 1: دیاگرام دمدولاسیون DSB

به تابع قسمت قبل، سیگنال مدوله شده در بخش چهارم را ورودی بدهید و سایر پارامترهای لازم را خودتان به شکل مناسب تعیین کنید. سپس سیگنال‌های  $y(t)$  و  $z(t)$  را، که در شکل 1 آمده‌اند، در حوزه زمان و فرکانس رسم نمایید. سیگنال  $z(t)$  همان خروجی تابعی است که در بخش قبل ساخته‌اید. پیام استخراج شده و سیگنال پیام اولیه را در یک نمودار رسم نمایید. با استفاده از معیار میانگین مجذور خطا<sup>3</sup> اختلاف آن‌ها را بدست آورید.

\*\*سیگنال‌ها را در بازه زمانی و فرکانسی مناسب رسم کنید تا شکل موج واضحی داشته باشند.

نمودار خطای بست آمده در قسمت قبل را نسبت به فرکانس موج حامل  $f_c = [-500, 500]$  هرتز رسم کنید و بهترین مقدار برای فرکانس حامل را تعیین نمایید.

خواسته‌ی چهارم را با استفاده از تابع ammod تکرار کنید و نتایج را مقایسه نمایید.

درخواسته‌ی ششم  $z(t)$  را با استفاده از تابع amdemod درحوزه زمان و فرکانس به دست آورید و نتایج را مقایسه کنید.

با استفاده از تابع ssbmod سیگنال پیام را با  $f_c = 100 \text{ Hz}$  و  $A_c = 1$  به دوشکل lower-sideband و upper-sideband مدوله کنید و تبدیل فوریه سیگنال خروجی را بر حسب هرتز رسم نمایید.

## بخش سوم: آشنایی با تبدیل هیلبرت و آشکارساز پوش

آنچه در درس آموختیم، تبدیل هیلبرت<sup>4</sup> سیگنال‌های پیوسته است. با توجه به اینکه در پیاده‌سازی‌های نرم‌افزاری، از سیگنال‌های گسسته در زمان استفاده می‌شوند، تبدیل هیلبرت از نوع گسسته کاربرد فراوانی دارد.

<sup>3</sup> Mean Squared Error (MSE)

<sup>4</sup> Hilbert Transform

در مورد تبدیل هیلبرت از نوع گسسته تحقیق کرده و به اندازه‌ی یک پاراگراف در گزارش‌کار خود بیاورید. همچنین، این تبدیل را در حوزه‌های زمان پیوسته و گسسته مقایسه نمایید.

سیگنال متناوب پیام به صورت زیر تعریف شده است. با استفاده از تابع hilbert، تبدیل هیلبرت آن را بیابید.

$$m(t) = \begin{cases} \text{sinc}(t) & 0 \leq t \leq 1 \\ 0 & -1 \leq t < 0 \end{cases}, m(t+2) = m(t)$$

این پیام را با استفاده از فرکانس مناسبی که در بخش دوم تعیین نمودید، به صورت DSB با دامنه‌ی سیگنال حامل برابر 1، مدوله کرده و در حوزه زمان، رسم نمایید.

با استفاده از آشکارساز پوش<sup>5</sup> (به وسیله‌ی تبدیل هیلبرت بدست آمده) ، سیگنال پیام را بازیابی نمایید. آیا این پیام قابل بازیابی است؟ اگر بله، روش بازیابی سیگنال را توضیح دهید و اگر خیر، راهی پیشنهاد دهید که بتوان سیگنال پیام را با استفاده از آشکارساز پوش، بازیابی کرد.

---

<sup>5</sup> Envelope Detector