



دانشکده فنی دانشگاه تهران

دانشکده برق و کامپیوتر

پروژه ۲ سیستم های مخابرات

Analog modulation

رایانامه

sj.pakdaman@ut.ac.ir

طراح:

سجاد پاکدامن ساوجی

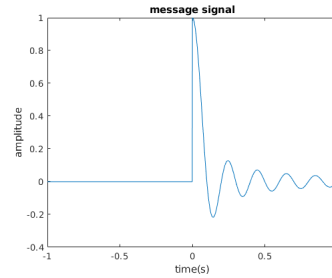
نیم سال اول ۹۸-۹۹

دانشجویان عزیز، قبل از پاسخ‌گویی به سوالات به نکات زیر توجه کنید:

۱. شما باید کدها و گزارش خود را با الگو `CA2_StudentNumber.zip` در محل تعیین شده آپلود کنید
۲. گزارش کار شما نیز جزو معیار های ارزیابی خواهد بود در نتیجه زمان کافی برای تکمیل آن اختصاص دهید
۳. 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
۴. شما میتوانید سوالات خود را از طریق ایمیل sj.pakdaman@ut.ac.ir بپرسید

در این تمرین کامپیوتری به شبیه سازی مدولاسیون های آنالوگ دامنه ، فاز و فرکانس می پردازیم. همچنین روش های مختلف دمدولاسیون و خطای ناشی از اختلاف فرکانس کار در فرستنده و گیرنده را بررسی می کنیم.

۱. در طول این تمرین می خواهیم سیگنال پیام شکل ۱ را با روش های مختلف مدوله کنیم. از سیگنال پیام در بازه $[1, -1]$ با $f_s = 600$ نمونه برداری کنید. سیگنال حاصل و تبدیل فوریه آن را رسم کنید. (نمودار حوزه زمان باید برحسب ثانیه و نمودار حوزه فرکانس بر حسب $H\text{z}$ باشد)



شکل ۱: سیگنال $m(t)$

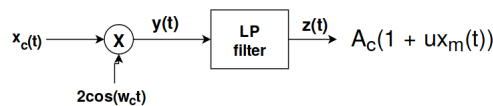
۲. ساده ترین نوع مدولاسیون دامنه ، Conventional AM است. $x_c(t) = A_c(1 + \mu x_m(t)) \cos 2\pi f_c t$

تابعی بنویسید که سیگنال پیام $x_m(t)$ ، دامنه موج حامل A_c ، اندیس مدولاسیون μ و فرکانس موج حامل f_c را ورودی بگیرد و سیگنال مدوله شده را باز گرداند. تابع را در حالت کلی پیاده سازی کنید تا برای هر ورودی عملیات مدولاسیون را بدرستی انجام دهد.

(آ) سیگنال پیام را با فرکانس های $f_c = \{10, 50, 100\}$ مدوله کنید و سیگنال های مدوله شده را رسم نمایید. همچنین سیگنال پیام را با فرکانس های $f_c = \{600, 1200\}$ مدوله کنید و سیگنال های مدوله شده را رسم نمایید. بالا ترین فرکانس موج حامل که قابل استفاده می باشد چه مقداری است؟

(ب) پیام را با $f_c = 100 H\text{z}$ مدوله کنید و تبدیل فوریه سیگنال مدوله شده را بر حسب $H\text{z}$ رسم کنید.

(ج) تابعی بنویسید که سیگنال مدوله شده $x_c(t)$ ، دامنه موج حامل A_c ، اندیس مدولاسیون μ و فرکانس موج حامل f_c را ورودی بگیرد و سیگنال پیام را از آن استخراج کند. برای دمدولاسیون پیام می توانید از دیاگرام شکل ۲ استفاده کنید. در نرم افزار متلب برای اعمال فیلتر پایین گذر می توانید از تابع `lowpass()` استفاده کنید.



شکل ۲: دیاگرام دمدولاسیون برای Conventional AM

(د) سیگنال های $y(t)$ و $z(t)$ در شکل ۲ را در حوزه زمان و فرکانس رسم نمایید. سیگنال های دمدوله شده و $x_m(t)$ را در یک نمودار رسم نمایید و با استفاده از معیار میانگین مجذور خطا MSE اختلاف آن ها را بدست آورید.

(ه) اندیس مدولاسیون μ و فرکانس موج حامل f_c هابیر پارامتر های این مدولاسیون هستند ، به عبارت دیگر این پارامتر ها را باید از قبل تعیین کرد. یکی از معیارهای مناسب برای انتخاب این پارامتر ها مقدار اختلاف سیگنال دمدوله شده با سیگنال پیام اولیه است. نمودار خطا MSE نسبت به اندیس مدولاسیون $\mu = [-4, 4]$ را رسم کنید و توضیح دهید بهترین انتخاب برای μ چیست.

(و) نمودار خطا MSE نسبت به فرکانس موج حامل $f_c = [-500, +500]$ را رسم کنید و توضیح دهید بهترین انتخاب برای f_c چیست.

۳. مدولاسیون بعدی که پیاده سازی می کنیم DSB است.

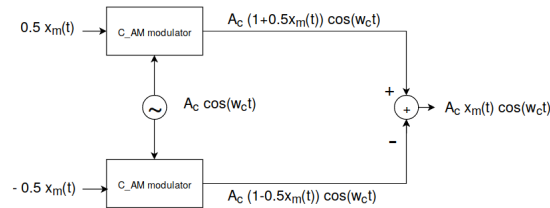
$$x_c(t) = A_c x_m(t) \cos 2\pi f_c t$$

تابعی بنویسید که سیگنال پیام $x_m(t)$ ، دامنه موج حامل A_c و فرکانس موج حامل f_c را ورودی بگیرد و سیگنال مدوله شده را باز گرداند.

(آ) سیگنال پیام را با فرکانس های $f_c = \{10, 50, 100\}$ مدوله کنید و سیگنال های مدوله شده را رسم نمایید. همچنین سیگنال پیام را با فرکانس های $f_c = \{600, 1200\}$ مدوله کنید و سیگنال های مدوله شده را رسم نمایید. بالاترین فرکانس موج حامل که قابل استفاده می باشد چه مقداری است؟

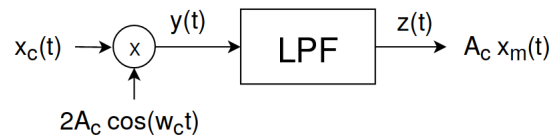
(ب) $f_c = 100 \text{ Hz}$ مدوله کنید و تبدیل فوریه سیگنال مدوله شده را بر حسب H_z رسم کنید.

(ج) به جای طراحی مدولاتور جدید برای مدولاسیون DSB می توان مطابق شکل ۳ از دو مدولاتور Conventional AM استفاده کرد. سیگنال پیام را با فرکانس موج حامل $f_c = 100 \text{ Hz}$ به روش شکل ۳ مدوله کنید و اختلاف سیگنال مدوله شده را با سیگنال مدوله شده در قسمت قبل با معیار MSE بدست آورید.



شکل ۳: دیاگرام مدولاسیون DSB با استفاده از Conventional AM

(د) تابعی بنویسید که سیگنال مدوله شده $x_c(t)$ ، دامنه موج حامل A_c و فرکانس موج حامل f_c را ورودی بگیرد و سیگنال پیام را از آن استخراج کند. برای دمدولاسیون پیام می توانید از دیاگرام شکل ۴ استفاده کنید. در نرم افزار متلب برای اعمال فیلتر پایین گذر می توانید از تابع $\text{lowpass}()$ استفاده کنید.



شکل ۴: دیاگرام دمدولاسیون برای DSB

(ه) سیگنال های $y(t)$ و $z(t)$ را در شکل ۴ را در حوزه زمان و فرکانس رسم نمایید. پیام استخراج شده و $x_m(t)$ را در یک نمودار رسم نمایید و با معیار میانگین مجزور خطا MSE اختلاف آن ها را بدست آورید.

(و) نمودار خطا MSE نسبت به فرکانس موج حامل $f_c = [-500, +500]$ را رسم کنید و توضیح دهید بهترین انتخاب برای هاپر پارامتر f_c چیست.

۴. مدولاسیون SSB از چه نظر به مدولاسیون DSB برتری دارد؟

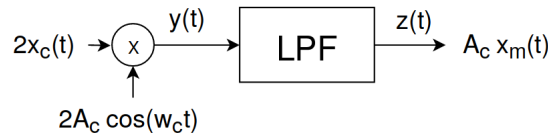
$$x_c(t) = \frac{A_c}{2} (x_m(t) \cos w_c t - \hat{x}(t) \sin w_c t) \quad USSB$$

$$x_c(t) = \frac{A_c}{2} (x_m(t) \cos w_c t + \hat{x}(t) \sin w_c t) \quad LSSB$$

برای هریک از مدولاسیون های فوق تابعی بنویسید که سیگنال پیام $x_m(t)$ ، دامنه موج حامل A_c و فرکانس حامل f_c را ورودی بگیرد و سیگنال مدوله شده را باز گرداند. برای اعمال تبدیل هیلبرت می توانید از تابع $\text{hilbert}()$ استفاده کنید. سپس قسمت های زیر را برای هر دو مدولاسیون انجام دهید:

(ا) سیگنال پیام را با فرکانس موج حامل $f_c = 100\text{Hz}$ مدوله کنید و سیگنال مدوله شده را در حوزه زمان و فرکانس رسم نمایید.

(ب) برای دمدولاسیون های SSB می توان از دمدولاتور DSB مطابق شکل ۵ استفاده کرد. سیگنال مدوله شده در قسمت قبل را دمدوله کنید و با استفاده از معیار MSE اختلاف پیام استخراج شده و پیام اصلی را بیابید. همچنین سیگنال های $y(t)$ و $z(t)$ را در حوزه زمان و فرکانس نمایش دهید.



شکل ۵: دیاگرام دمدولاسیون برای SSB

۵. در قسمت های قبل برای استخراج پیام از سیگنال مدوله شده از دمدولاتور های سنکرون استفاده کردیم. یکی از چالش های پیاده سازی سیستم های سنکرون همگام سازی فرکانس در گیرنده و فرستنده است. برای هر یک از مدولاسیون های Conventional AM، DSB، USSB و LSBB مراحل زیر را انجام دهید:

(ا) سیگنال پیام را با $f_c = 100\text{Hz}$ مدوله کنید و در گیرنده سنکرون با $f' = f_c \pm 0.01f_c$ پیام را استخراج کنید. پیام استخراج شده و پیام اصلی را در حوزه زمان در یک نمودار رسم نمایید.

(ب) در حالت کلی پیام در فرستنده با فرکانس f_c مدوله می شود و در گیرنده با فرکانس $f_c \pm \Delta f$ استخراج می شود. نمودار MSE پیام اصلی و پیام استخراج شده را بر حسب $\Delta f = [-50, 50]$ برای $f_c = 100\text{Hz}$ رسم نمایید.

با توجه به نتایج بدست آمده کدام یک از مدولاسیون ها در مقابل نوسانات فرکانس مقاوم تر است؟

۶. (امتیازی) مراحل سوال ۵ را برای مدولاسیون های PM و FM انجام دهید. با توجه به نتایج بدست آمده، از بین مدولاسیون های دامنه و فرکانس کدام یک حساسیت کمتری نسبت به نوسانات فرکانس دارند؟