

به نام خدا



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی برق

سیستم‌های مخابراتی - دکتر بهروزی - گروه ۳ و ۲

نیم‌سال اول ۹۹-۹۸

سری سوم تمرین‌های کامپیوتری

تاریخ تحویل : ۴ دی ۹۸

نکات قابل توجه و مواردی که باید رعایت شود:

- تحویل تمرین در سامانه CW انجام می‌شود. تاریخ تحویل به هیچ وجه تمدید نخواهد شد؛ برای $d \leq 7$ روز تاخیر، نمره شما در ضریب تاخیر $q = 1/4 - 0/4 \times 1/15^d$ ضرب خواهد شد و با بیشتر از ۷ روز تاخیر تحویل گرفته نخواهد شد.
- فایل تحویلی باید به فرمت zip یا rar و حاوی موارد زیر باشد:

- یک فایل m. شامل کدهای تمام سوالات
- فایل‌های تمام توابعی که نوشته‌اید و در کد خود استفاده کرده‌اید
- فایل گزارش به فرمت pdf. شامل پاسخ به تمام سوالات، نمودارها، نتایج خواسته شده، اثبات‌ها و محاسبات دستی (در صورت لزوم)

- نام فایلی که آپلود می‌کنید به صورت HW#_Name_StudentID باشد.
- نمودارها باید عنوان مناسب داشته باشند.
- سعی کنید گزارشتان مختصر و کامل باشد، از توضیحات اضافی اجتناب کنید.
- کد خود را کامنت گذاری کنید و بخش‌های مختلف آن را توسط %% جدا کنید.
- از کپی کردن تمرین دیگران و یا قراردادن تمرین خود در اختیار دیگران بپرهیزید؛ در صورت مشاهده برخورد جدی خواهد شد.
- ۴۵٪ نمره مربوط به اجرای بدون خطای کد و عملکرد درست آن است. ۴۵٪ نمره به پاسخ به سوالات و نتایج درست گزارش تعلق دارد. خوانا بودن کد و تمیز بودن گزارش نیز هر کدام ۵٪ نمره را تشکیل می‌دهند.
- جهت رفع ابهام و اشکالات خود می‌توانید از طریق آدرس ایمیل matlab.comsys@gmail.com آن‌ها را مطرح کنید.

۱ انتقال سیگنال صوتی توسط مدولاسیون FM (۴۰ نمره)

در این قسمت قصد داریم سیگنال صوتی ضمیمه شده را با مدولاسیون FM ارسال کنیم و سپس آن را بازیابی نماییم. در ابتدا یک روش برای آشکارسازی پوش را معرفی می‌کنیم و سپس از این آشکارساز برای آشکارسازی مدولاسیون FM استفاده می‌نماییم.

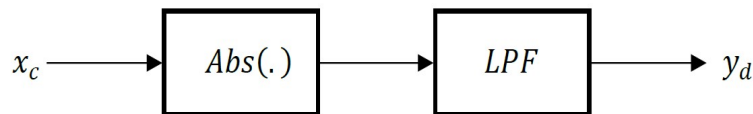
الف) در صورتی که:

$$x_c(t) = (1 + \mu x(t)) \cos(2\pi f_c t)$$

نشان دهید که با فرض اینکه سیگنال $x(t)$ پهنای باند محدود با حد f_m داشته باشد و با فرض اینکه:

$$f_m \ll f_c, \quad 0 < (1 + \mu x(t))$$

سیستم زیر پوش سیگنال $x_c(t)$ را در خروجی می‌دهد. پهنای باند و ضریب ثابت فیلتر پایین گذر را بدست آورید. همچنین حدود f_m را تعیین کنید.

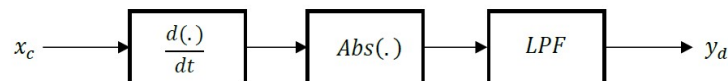


شکل ۱:

ب) در صورتی که:

$$x_c(t) = \cos(2\pi f_c t + 2\pi f_\Delta \int_0^t x(\tau) d\tau)$$

نشان دهید که سیستم زیر می‌تواند دمدولاسیون FM را انجام دهد. مشخصات فیلتر پایین گذر و حدود پهنای باند $x(t)$ را بدست آورید.



شکل ۲:

پ) انتقال سیگنال صوتی:

۱. سیگنال صوتی Audio.wav را در MATLAB بخوانید و تبدیل فوریه آن را رسم کنید. پهنای باند تقریبی سیگنال چقدر است؟

۲. سیگنال را از فیلتر پایین گذر با فرکانس قطع مناسب عبور دهید. برای تعیین فرکانس قطع مناسب، با روش آزمون و خطا، سیگنال را با چند فرکانس مختلف فیلتر کنید تا جایی که کیفیت سیگنال صوتی در آستانه کاهش قرار گیرد. این فرکانس را f_m نام‌گذاری می‌کنیم.

۳. برای افزایش دقت شبیه‌سازی، فرکانس نمونه‌برداری سیگنال را ۱۰ برابر کنید. این سیگنال برای مدولاسیون استفاده خواهد شد.

۴. $x(t)$ را برابر سیگنال حاصل از بخش قبل قرار دهید:

$$x_c(t) = \cos(2\pi f_c t + 2\pi f_\Delta \int_0^t x(\tau) d\tau)$$

$$\Delta f = \max(|x|) f_\Delta, \quad \beta = \frac{\Delta f}{f_m} \quad f_c = 50 \text{ KHz}$$

۵. $\beta = 3$ قرار دهید و عملیات مدولاسیون و دمدولاسیون را طبق بخش‌های قبل انجام دهید. سیگنال حاصل از دمدولاسیون را Downsample کنید و به صوت حاصل گوش دهید. MSE را نیز محاسبه کنید. راهنمایی: برای تقریب مشتق سیگنال پیوسته از روی نمونه‌های آن، از فرمول زیر استفاده کنید:

$$\frac{dx}{dt}(t = mT_s) \approx \frac{x((n+1)T_s) - x((n-1)T_s)}{2T_s}$$

و برای تقریب انتگرال از فرمول زیر و یا دستور cumtrapz استفاده کنید:

$$\int_{nT_s}^{mT_s} x(t) dt = \sum_{k=n}^{m-1} \frac{x((k+1)T_s) + x(kT_s)}{2} T_s$$

در این سوال می‌توانید از دستورات زیر یا دستورات مشابه کمک بگیرید:
... linspace, max, mean, downsample, interp, conv, fftshift, fft, Audioread.

۲ انتقال پیام تک فرکانس (Tone) توسط مدولاسیون FM (۶۰ نمره)

در این سوال هدف انتقال یک Tone یا پیام تک فرکانس با انجام مدولاسیون FM است. ابتدا طیف سیگنال مدوله و پهنای باند لازم بررسی می‌شود. سپس تاثیر اعوجاج غیرخطی و تداخل بر سیگنال مدوله FM مشاهده می‌شود.

الف) سیگنال پیام $x(t) = \cos(\omega_m t)$ را با فرکانس $f_m = 10 \text{ Hz}$ و با فرکانس نمونه‌برداری $f_s = 50 \text{ KHz}$ برای مدت ۰/۱s تولید کنید. سپس آن را به صورت FM با فرکانس حامل $f_c = 1 \text{ KHz}$ و $f_\Delta = 100 \text{ Hz}$ مدوله کنید. راهنمایی:

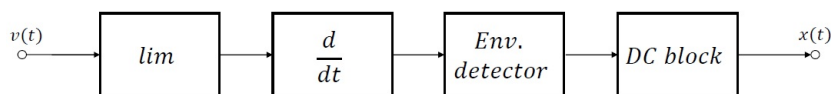
$$f(t) = f_c + f_\Delta x(t) \Rightarrow v(t) = \cos(\omega_c t + 2\pi f_\Delta \int_0^t x(\tau) d\tau)$$

شکل سیگنال مدوله شده را در حوزه زمان (در یک نمودار به همراه سیگنال x) و در حوزه فرکانس رسم کنید. پهنای باند سیگنال مدوله را محاسبه کنید.

ب) سیگنال مدوله شده از بلوکی با اعوجاج غیرخطی (کانال، تقویت کننده، ...) عبور خواهد کرد. به طور کلی این تابع غیرخطی را می‌توان به صورت $y = \sum a_n v^n$ نوشت (بسط تیلور را به خاطر بیاورید). خروجی y را به صورت جمع توابع کسینوسی بدست آورید (محاسبات دستی در گزارش آورده شود). با وجود چه شرطی در مورد سیگنال مدوله شده و با چه روشی می‌توان اثر این بلوک غیرخطی را جبران کرد؟ مشاهده می‌شود که تاثیر اعوجاج غیرخطی سیگنال مدوله FM قابل جبران است این پدیده چه فایده مهمی می‌تواند داشته باشد؟

سیگنال مدوله شده قسمت (الف) را از یک بلوک با مشخصه ورودی-خروجی $y = v^2$ عبور دهید و طیف آن را رسم کنید. با روشی که توضیح دادید اثر این بلوک غیرخطی را از بین ببرید و مجدداً طیف سیگنال بازسازی شده \tilde{v} را نیز رسم کنید.

پ) یک روش آشکارسازی مدولاسیون FM تبدیل تغییرات فرکانس به دامنه و آشکارسازی آن است. ابتدا با نوشتن روابط شرح دهید که بلوک دیاگرام شکل ۱ چگونه سیگنال پیام را بازیابی می‌کند. نقش هر یک از بلوک‌ها و دلیل وجود هر یک را توضیح دهید. مطابق بلوک دیاگرام زیر این دمدولاتور را پیاده‌سازی کنید. و سیگنال مدوله شده قسمت (الف) را دمدوله کنید.



شکل ۳: بلوک دیاگرام آشکارساز مدولاسیون FM

ت) در شرایط واقعی فرستنده‌های دیگری نیز ممکن است با کانال ما تداخل داشته باشند. اثر تداخل را به صورت یک سیگنال جمع شده با سیگنال مدوله اصلی با یک اختلاف فرکانس در نظر می‌گیریم.

$$v(t) = \cos(\omega_c t + 2\pi f_\Delta \int_0^t x(\tau) d\tau) + A_i \cos((\omega_c + \omega_i)t + \phi_i)$$

فرض‌های زیر را داریم:

$$\rho = \frac{1}{A_i} \ll 1$$

$$\theta(t) = \omega_i t + \phi_i$$

چیزی که در نهایت آشکارساز فرکانس آشکار می‌کند $\dot{\phi} = \rho \omega_i \cos \theta$ است که اثر کوچکی نیست. همانطور که مشاهده می‌شود اثر مزاحم سیگنال تداخلی در فرکانس‌های بالاتر داخل پهنای باند بیشتر است. برای حل این مسئله از یک فیلتر پایین‌گذر درجه ۱ درگیرنده استفاده می‌شود و برای اینکه در فرکانس بالا اطلاعات سیگنال از دست نرود در فرستنده نیز از یک فیلتر بالاگذر استفاده می‌کنیم (در واقع فرکانس‌های بالاتر را قبل از ارسال در کانال و اضافه شدن تداخل تقویت می‌کنیم) به طوری که اثر فیلتر گیرنده را خنثی کند. به این جفت فیلتر، فیلترهای پیش‌تأکید و وات‌آکید گفته می‌شود.

ابتدا یک سیگنال تداخلی با فرکانس $\omega_i = 100\text{ Hz}$ و $A_i = 0.1$ تولید و به سیگنال مدوله شده قسمت (الف) اضافه کنید. بدون استفاده از فیلترهای پیش‌تأکید و وات‌آکید اثر تداخل را بعد از دمدوله کردن مشاهده کنید. حال یک جفت فیلتر پیش‌تأکید و وات‌آکید مناسب با توجه به پهنای باند سیگنال طراحی کنید و بررسی کنید چه مقدار اثر تداخل کمتر می‌شود.