دانشگاه تهران

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

Principles of Communication Systems

CA2

Parsa Darban

810100141

بخش اول (مدولاسیون دامنه)

قسمت الف (AM)

۱. سیگنال داده شده را با دستور Load فرا میخوانیم. با توجه به آنکه فرکانس نمونه برداری برابر با fs=10000Hz است طول فایل داده شده را به دست آورده و بازه زمانی را پیدا میکنیم.

$$\left(\frac{\text{tend-0}}{\frac{1}{\text{fs}}}\right)+1=\text{lenght}(\text{x\_normal})$$

پس سیگنال را در بازه ۰ تا ۲ ثانیه رسم میکنیم.

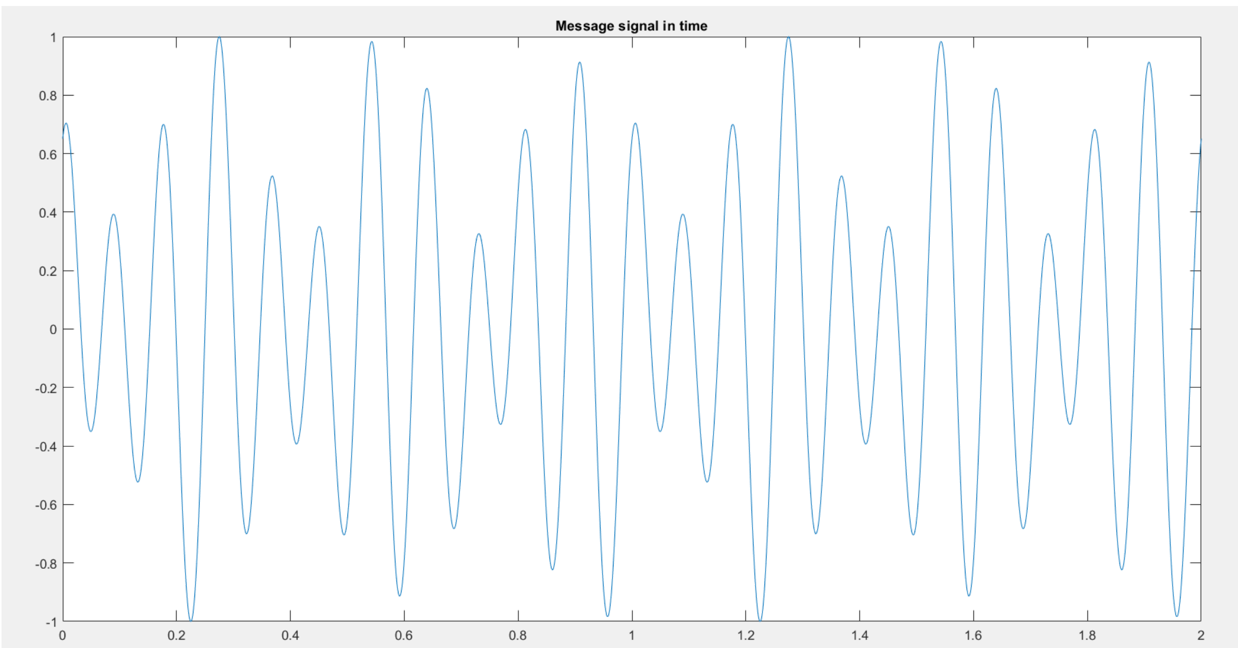


Figure 1.1 (plot message signal in time)

۲. سپس سیگنال داده شده را در حوزه فرکانس رسم میکنیم.

بازه فرکانس را همانند مقابل انتخاب میکنیم.

$$\text{f}=-\frac{\text{fs}}{2}:\frac{\text{fs}}{\text{L}}:\frac{\text{fs}}{2}-\frac{1}{\text{L}}$$

نتیجه به شرح زیر است:

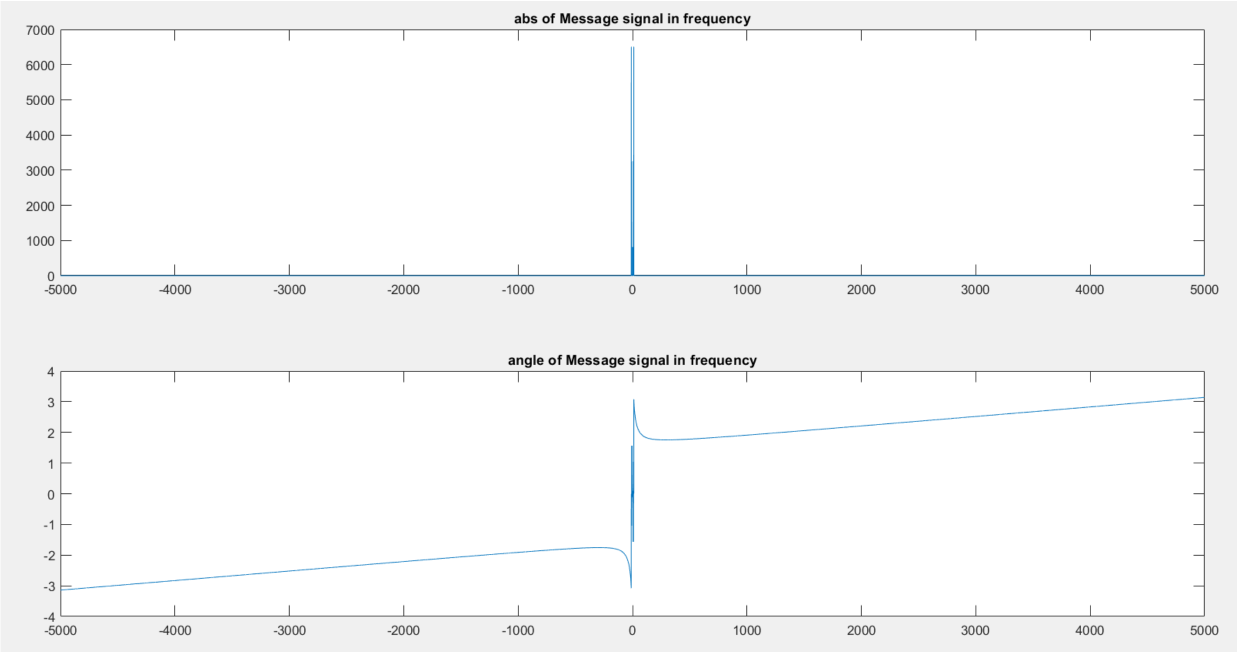


Figure 1.2 (plot message signal in frequency)

۳. در این بخش باید به روش AM سیگنال را مدوله میکنیم. طبق رابطه زیر سیگنال مدوله شده در AM نیاز به یک موج کریر دارد. دامنه موج کریر برابر با Ac=1 و فرکانس آن برابر با fc=200Hz است. همچنین این روش مدلاسیون نیازمند ضریبی به نام اندیس مدولاسیون(mu) هست که با چون سیگنال ما نرمالایز شده است ($x(t) < 1$) آن اندیس نیز باید کمتر از یک باشد.

پس اگر اندیس ما بزرگتر از یک باشد، در دمدولاسیون به مشکل میخوریم.کد این قسمت با ساختار شرطی زده شده و اندیس را از ما میگیرد. اگر mu>1 مدولاسیون انجام نمیشود و اگر کوچکتر باشد مدولاسیون را با فرمول زیر انجام میدهد.

xct=Ac.cos(2.pi.fc.t).(1+mu.x(t))

۴. در این بخش xc(t) را در حوزه زمان و فرکانس رسم میکنیم.

نتیجه به صورت زیر است:

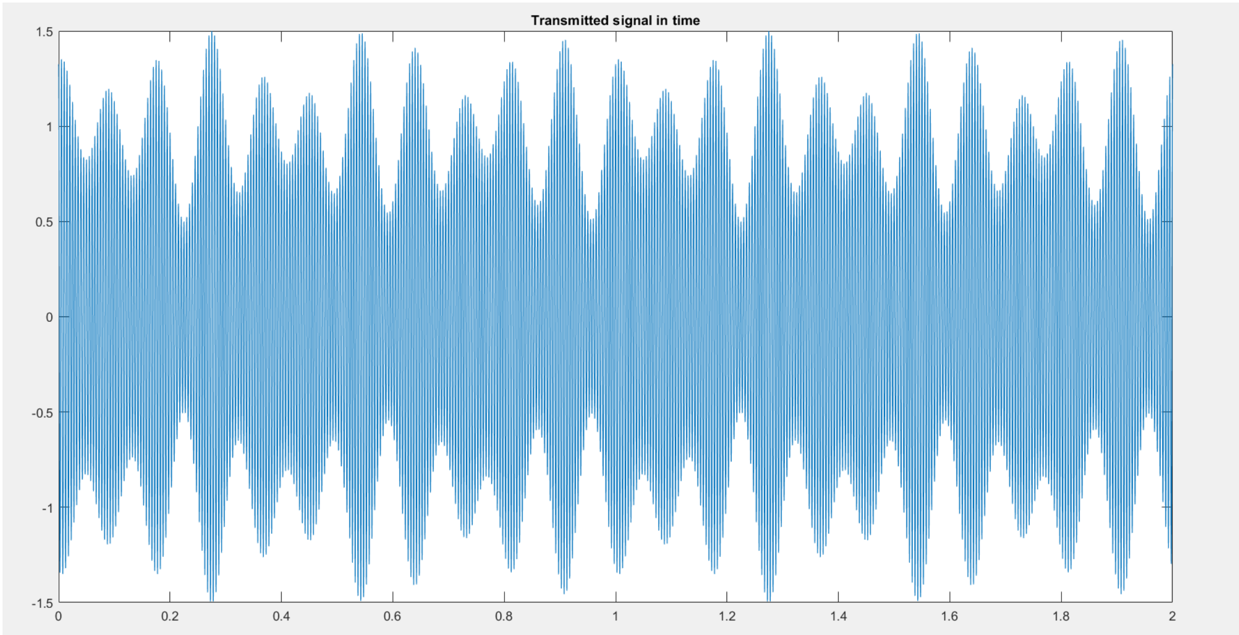


Figure 1.3 (transmitted signal in time)

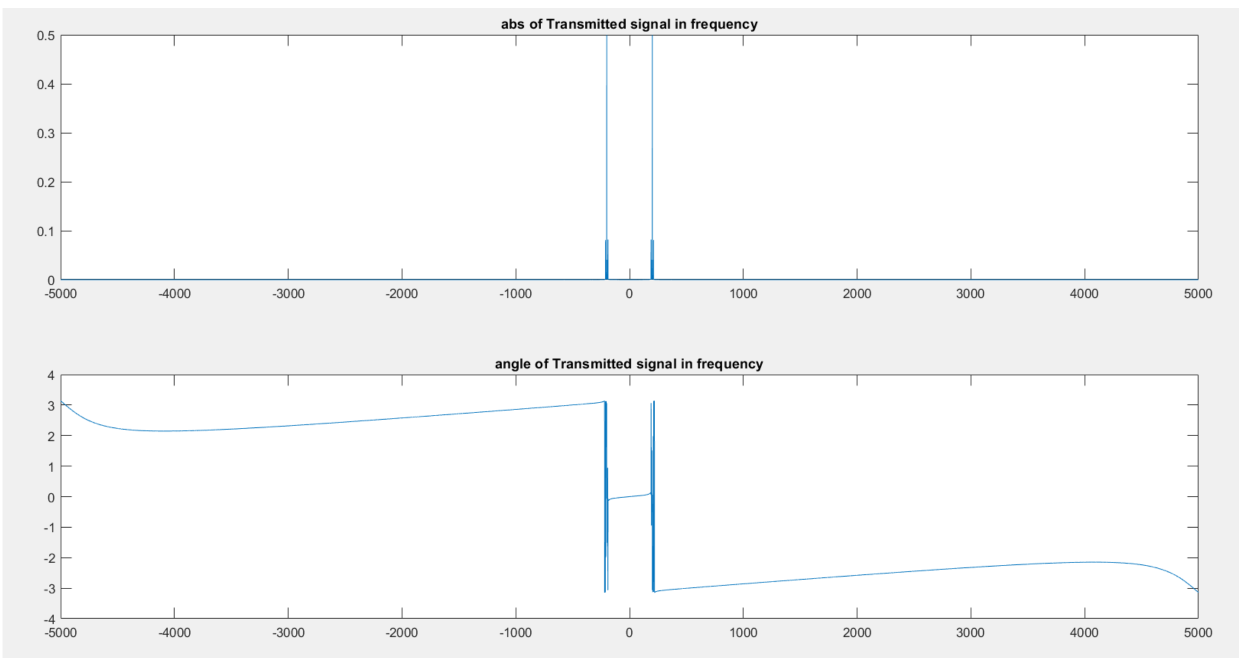


Figure 1.4 (transmitted signal in frequency)

برای محاسبات دستی فرض میگیریم X(f) فوریه سیگنال داده شده است. و طبق معادله بالا پیش میرویم.

xct=Ac.cos(2.pi.fc.t)+Ac.cos(2.pi.fc.t).mu.x(t)

از معادله بالا فوریه میگیریم.

$$xc(t)=Ac((\delta(f-fc))+\delta(f+fc))+Ac.mu((\delta(f-fc)+\delta(f+fc))*X(f))$$

با تحلیل نتیجه در حوزه فوریه میبینیم که سیگنال پیام ما در حوزه فرکانس باید به سمت fc+ و fc- شیفت بخورد زیرا با فوریه کسینوس که ضربه است ، کانوالو شده و حول آن دو رسم میشود . همچنین به علت داشتن DC در حوزه زمان و فوریه گرفتن از آن در دو ضربه در همان fc+ و fc- به اندازه نصف دامنه سیگنال پیام داریم. که شکل آن در حوزه فرکانس به ما معادله ریاضی را ثابت میکند.

در اینجا کانوولوشن را با * و ضرب را با . نمایش دادیم.

در اینجا fc=200 است و سیگنال حول آن در حوزه فرکانس رسم شده.

۵. حال میخواهیم سیگنال مدوله شده را با نوشتن تابعی دمدوله کنیم.

در اینجا برای آشکارسازی از تبدیل هیلبرت استفاده میکنیم. به طوری که طبق رابطه زیر دامنه را به دست میاوریم و با رابطه دوم سیگنال پیام را محاسبه میکنیم.

کد تبدیل هیلبرت در حوزه فرکانس نوشته شده و از آن فوریه معکوس گرفته شده تا در حوزه زمان از آن استفاده کنیم زیرا رابطه زیر در حوزه زمان کاربرد دارد. (این رابطه در سایت متلب در بخش envelope detector نوشته شده)

ورودی تابع: سیگنال مدوله شده در حوزه فرکانس و fc و mu و Ac

$$e(t) = \sqrt{x(t)^2 + \widehat{x}(t)^2}$$

حال برای تبدیل دامنه به سیگنال از رابطه مقابل استفاده میکنیم.

$$x(t)=\frac{\left(\frac{e(t)}{A}-1\right)}{mu}$$

نتیجه به دست آمده همان سیگنال ورودی است.

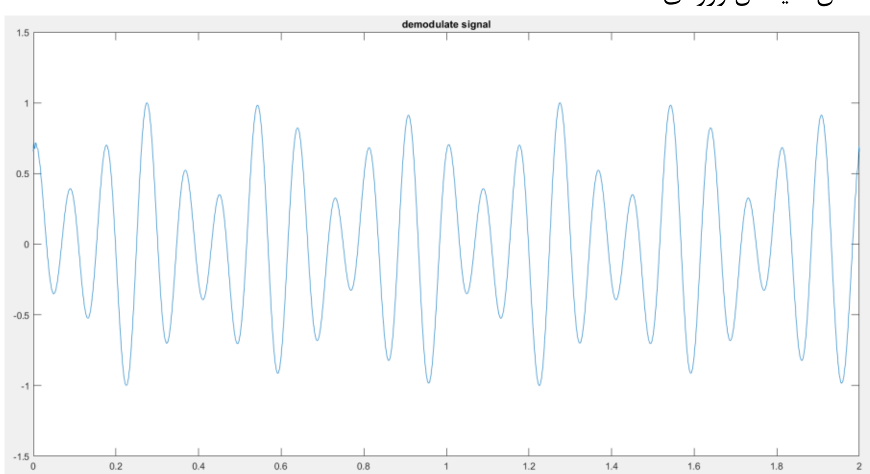


Figure 1.5 (plot modulation in time)

برای آنکه نشان دهیم شبیه سیگنال ورودی است از immse استفاده میکنیم.

err1 4.8992e-06

قسمت ب) (DSB)

۱و۲و۳. ابتدا سیگنال داده شده را رسم میکنیم.

بازه آن f=-5000:5000 است و فرکانس نمونه برداری برابر fc=10000Hz است.

بازه زمانی آن از t=-10:10 است.

سیگنال داده شده مطابق زیر است:

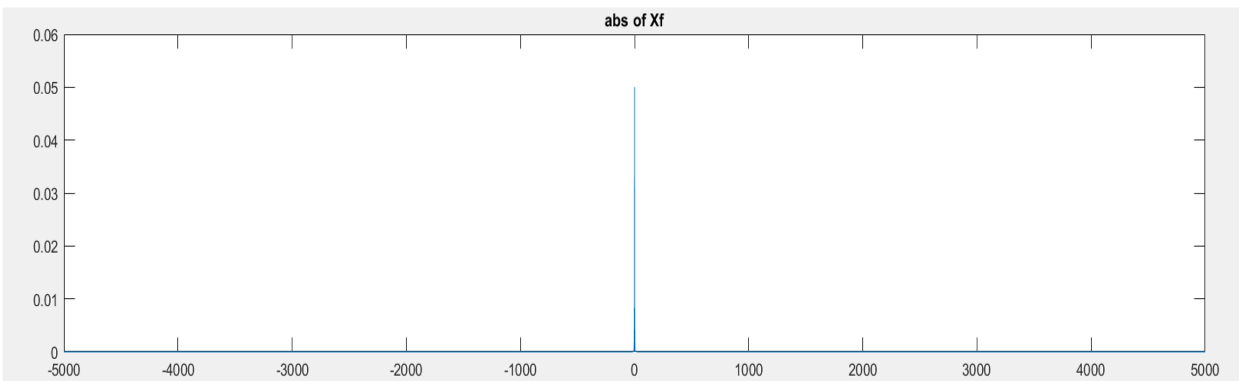


Figure 1.6 (message signal in frequency)

برای ساختن فیلتر نیازمند به فرکانس قطع (flp) هستیم که آن را باید با توجه به فرکانس سیگنال داده شده پیدا کنیم. در اینجا 10Hz گرفته شده. نتیجه فیلتر به شرح زیر است:

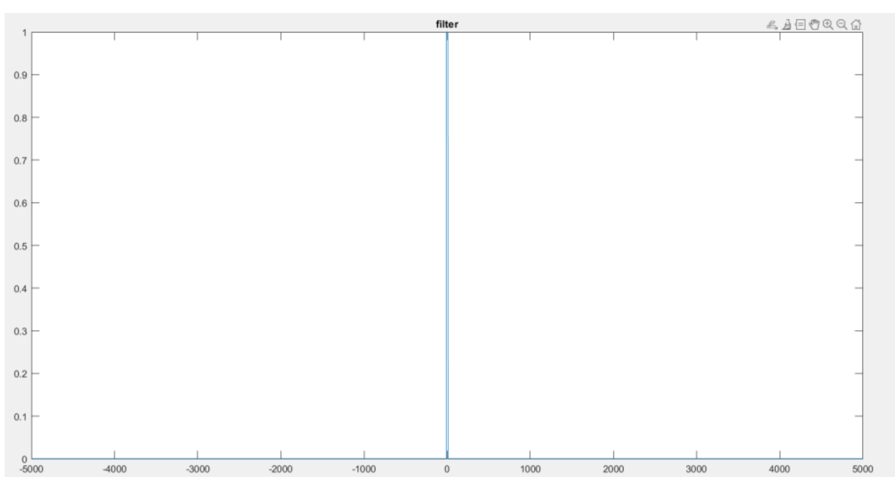


Figure 1.7 (filter for demodulation)

فرکانس های کریر برابر با fc1 و fc2 است. تابعی تعریف میکنیم که ورودی آن سیگنال پیام در حوزه فرکانس و fc1 و fc2 و flp و f و t است و خروجی های مدنظر را میدهد.

خروجی های تابع به شرح زیر است:

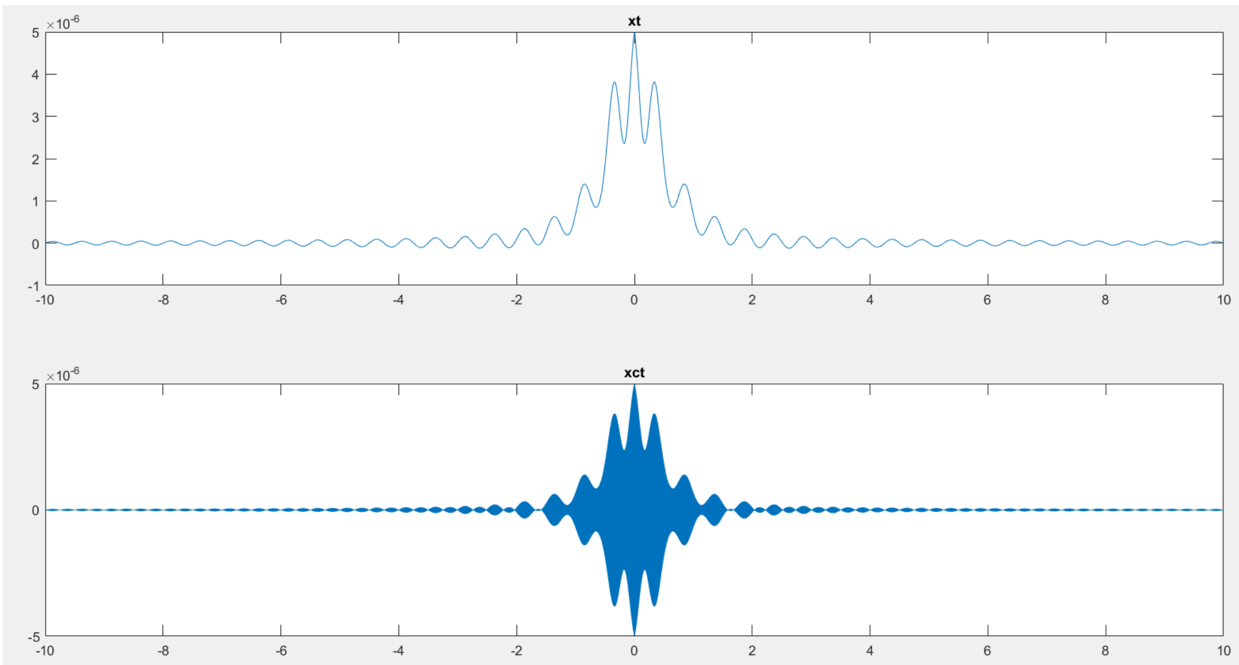


Figure 1.8 (plot message signal and modulate signal in time)

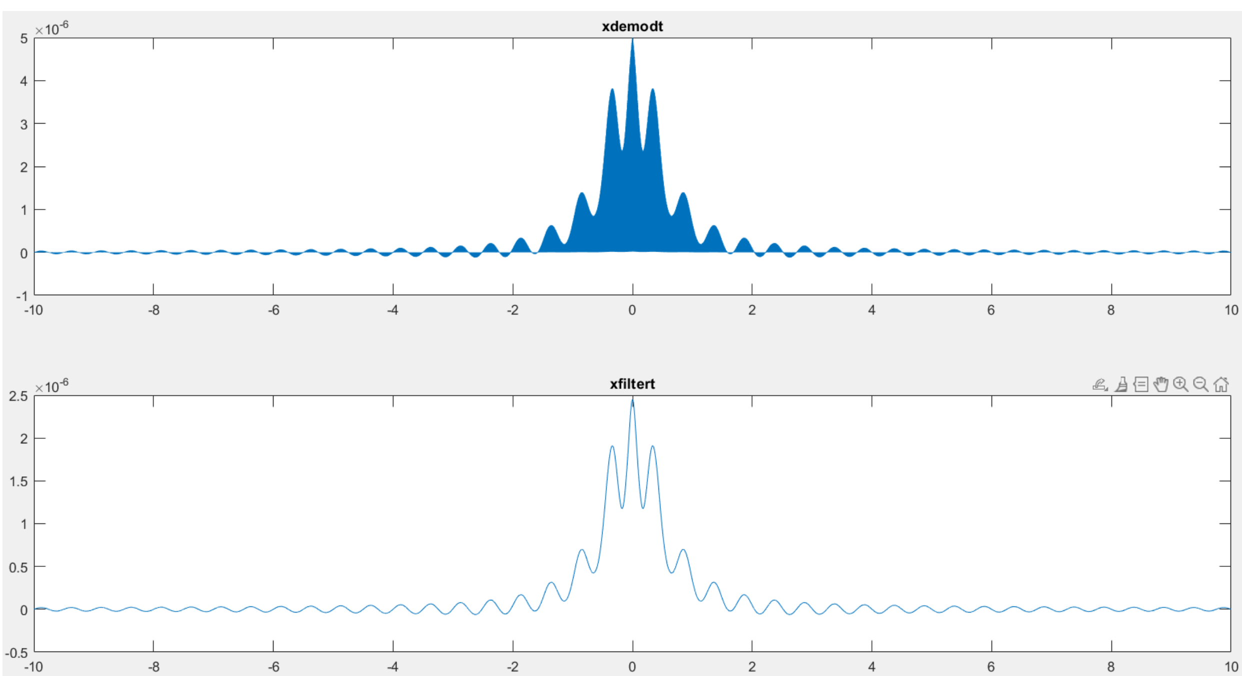


Figure 1.9 (plot demodulate signal before and after filter in time)

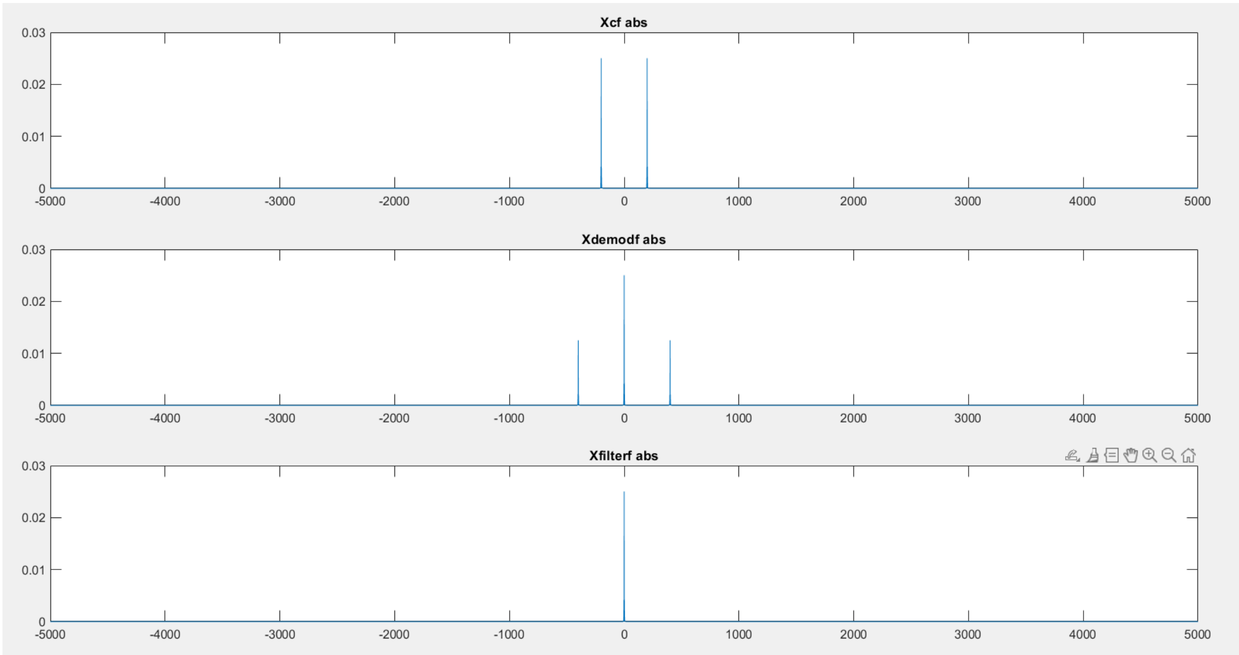


Figure 1.10 (plot signal in frequency)

سیگنال های بالا برای fc1=200 و fc2=200 رسم شده است.

نتایج را برای fc1=200 و fc2=204 رسم میکنیم و سپس به مقایسه با محاسبات دستی میپردازیم.

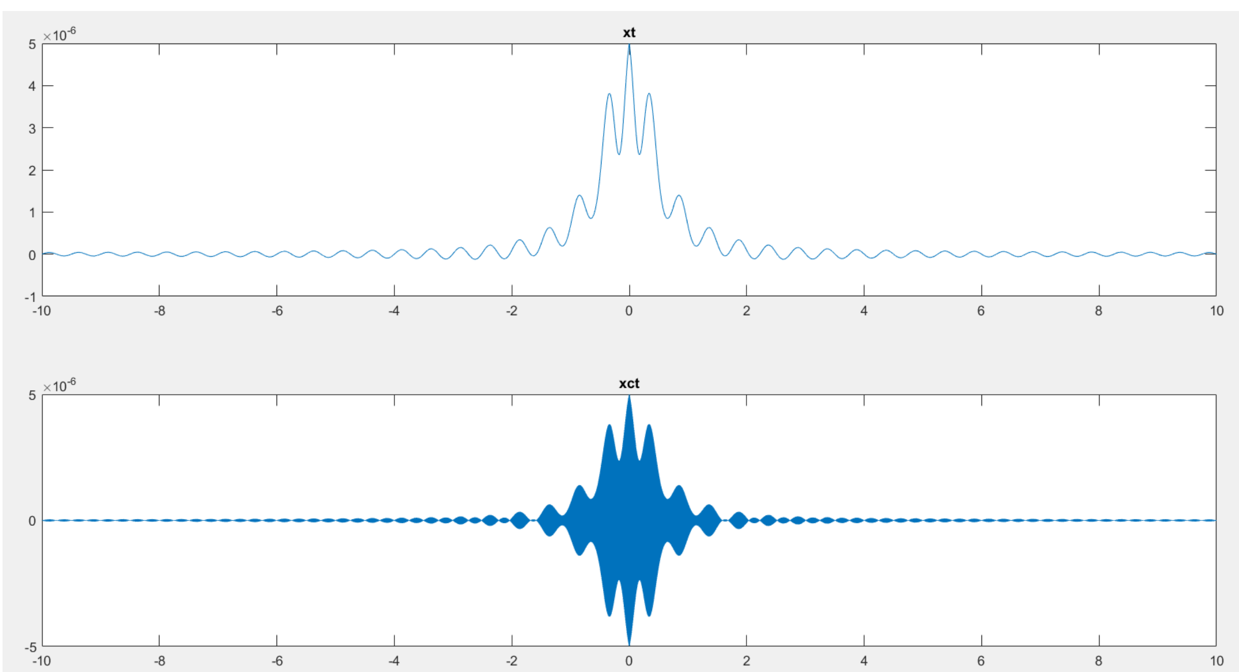


Figure 1.11 (plot message signal and modulate signal in time for new frequency carrier)

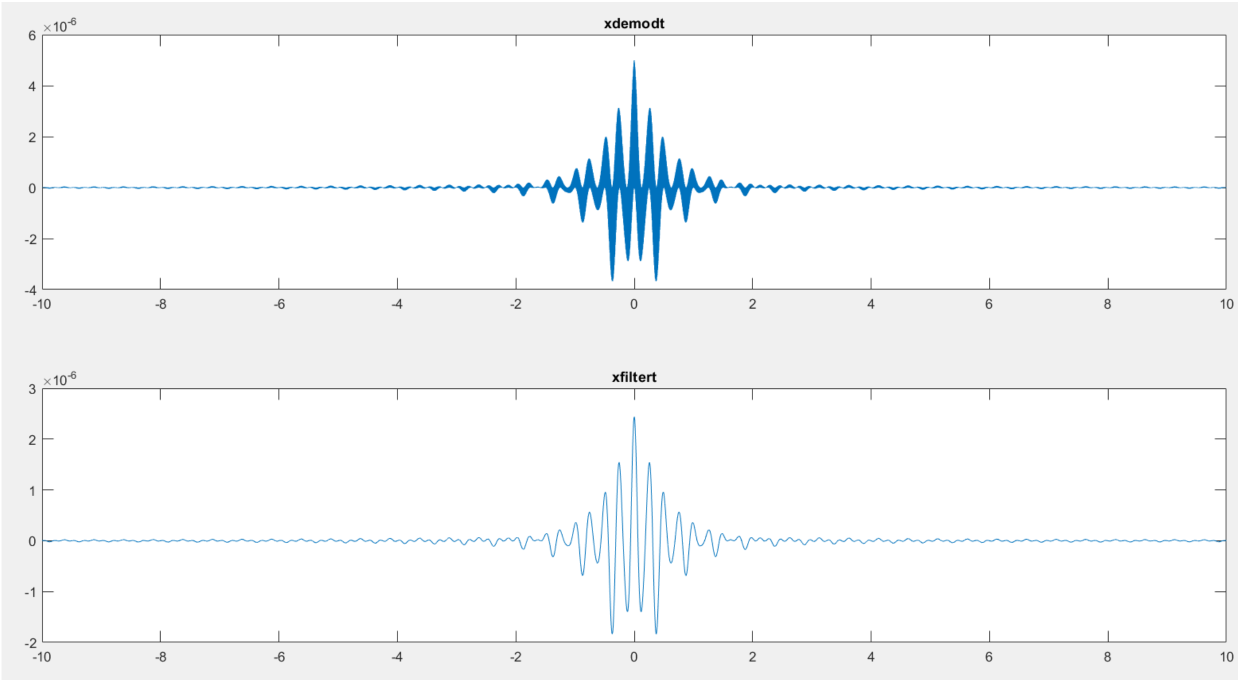


Figure 1.12 (plot demodulate signal before and after filter in time for new frequency carrier)

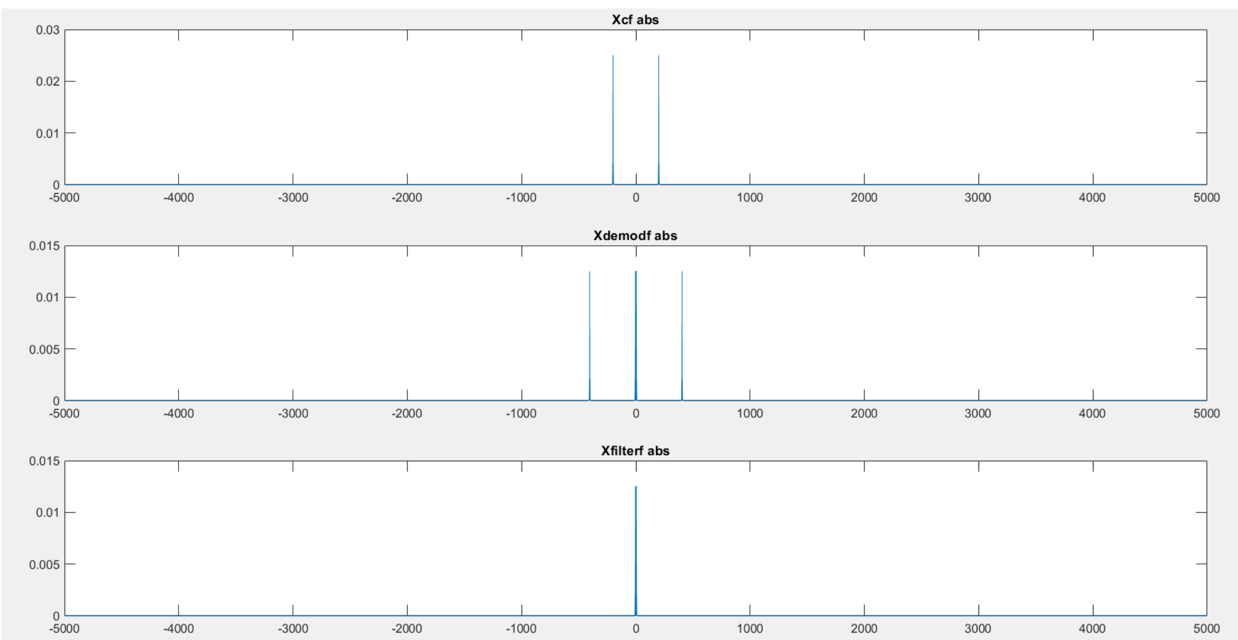


Figure 1.13 (plot signal in frequency for new frequency carrier)

برای محاسبات دستی در حوزه فرکانس بررسی میکنیم و سیگنال پیام را X(f) در نظر میگیریم.

برای DSB ابتدا سیگنال را در یک کسینوس ضرب میکنیم که باعث شیفت خوردن آن به fc1+ و fc1- میشود.

همانطور که مشخص است در figure 1.10 و figure 1.13 شکل اول سیگنال ما حول فرکانس گفته شده رسم میشود.

برای دمودله کردن سیگنال باز آن را در کسینوس ضرب کرده و مانند قبل سیگنال ها موجود حول فرکانس fc1-+ به اندازه fc2+ و fc2- شیفت میخورد. در figure 1.10 و figure 1.13 شکل دوم قابل مشاهده است.

$$xc(t)=x(t).\cos(2.pi.fc1.t)$$

حال فوریه آن را محاسبه میکنیم.

$$Xc(f)=X(f)*(\delta(f-fc1)+\delta(f+fc1))$$

$$Xc(f)=X(f-fc1)+X(f+fc1)$$

تا اینجای کار پلات برای هر دو حالت یکسان است.(figure 1.10 و figure 1.13 شکل اول)

حال باز سیگنال مدوله شده را در کسینوس ضرب میکنیم.

$$Xdemod(f)=Xc(f)*(\delta(f-fc2)+\delta(f+fc2))$$

$$Xdemod(f)=Xc(f-fc2)+Xc(f+fc2)$$

در اینجا دو حالت سیگنال داریم.

در figure 1.10 شکل دوم مشاهده میشود که دقیقا حول صفر سیگنال رسم میشود. زیرا fc1=fc2 است و به همین علت در هنگام شیفت خوردن سه ضربه در 400+ و 0 و 400- داریم.

با گذراندن از فیلتر و با توجه به فرکانس قطع سیگنال های در بازه 10- تا 10 رد کرده و بقیه را صفر میکند.

اما در حالت دوم به علت اینکه fc2 با fc1 برابر نیست سیگنال های شیفت خورد در فرکانس های 404+ و 4+ و 4- و 404- دارای ضربه است.

با رد کردن از فیلتر مانند قبلی سیگنال های بین 10 تا 10- رد میشوند.

در شکل زیر فرکانس ها را مقایسه میکنیم.

Figure 1.14 (fc1=200 , fc2=200)

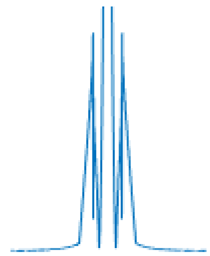
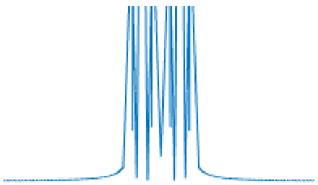


figure 1.15(fc1=200, fc2=204)



فرمول نهایی برای Xdemod(f) برابر است با :

$$X_{demod}(f)=X(f-f_{c1}-f_{c2})+X(f-f_{c1}+f_{c2})+X(f+f_{c1}-f_{c2})+X(f+f_{c1}+f_{c2})$$

بخش دوم (مدولاسیون زاویه (فاز و فرکانس))

قسمت الف (مدولاسیون فاز)

۱. تابع PM را با با ورودی های های ذکر شده را مینویسیم.

تابع در آخر کد موجود است.

۲. تابع NBPM را با ورودی های ذکر شده مینویسم.

در اینجا از تقریب استفاده میکنیم به طوری که فرمول PM را باز میکنیم و از تقریب زیر استفاده میکنیم.

PM=Ac.cos(2.pi.fc.t + phd.xt)

Sine Series:

$$\sin(x) = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \dots$$

Cosine Series:

$$\cos(x) = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \dots$$

به علت آنکه شرط باند باریک ϕ(t)<1 است پس از سری بالا تقریب میزنیم و ترم اول را برمیداریم.

NBPM=Ac.cos(2.pi.fc.t)-Ac.phd.xt.sin(2.pi.fc.t)

۳. ورودی ها را به مدار میدهیم.

نتایج مطابق زیر است:

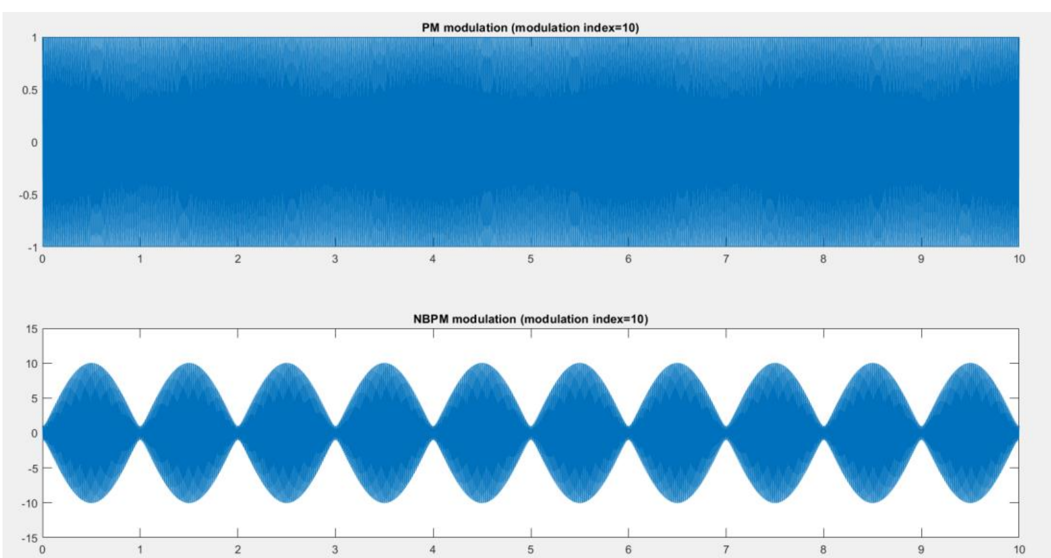


Figure 2.1 (PM and NBPM in time for ϕdelta=10)

همچنین درصد خطای آن برابر با errPM1 25.8112

۴. حال ورودی جدید که فقط اندیس مدولاسیون آن فرق میکند را به دو تابع میدهیم.

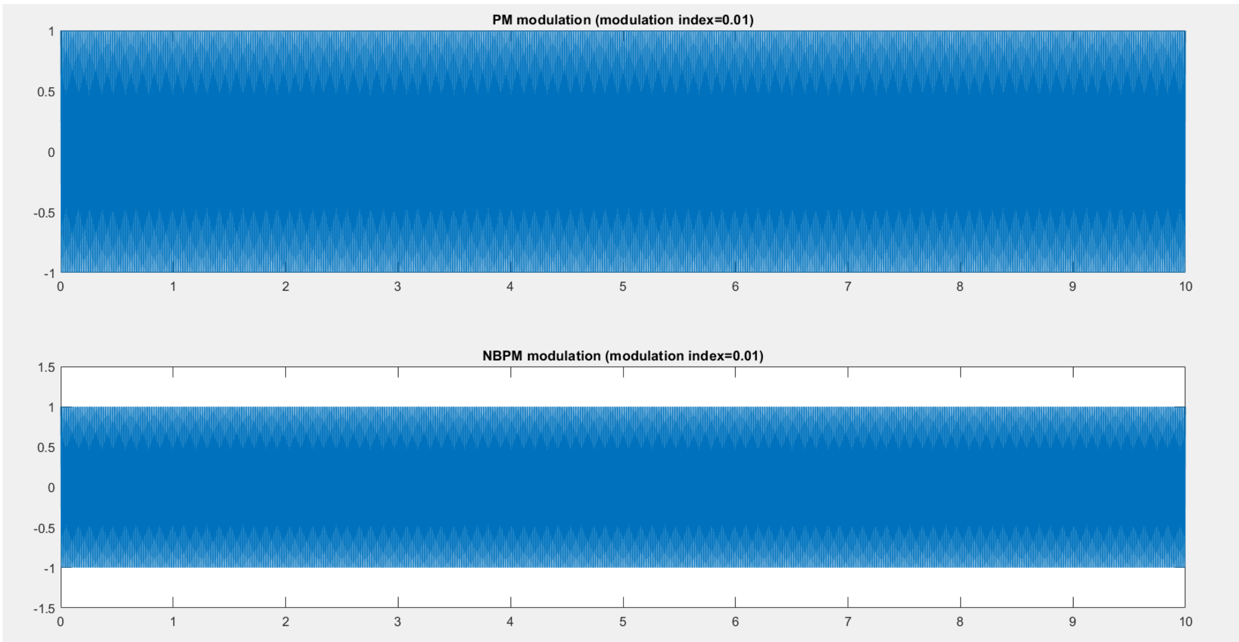


Figure 2.2 (PM and NBPM in time for ϕdelta=0.01)

درصد خطای آن برابر است با : errPM2 4.6875e-10

مقایسه دو حالت قبل:

درصد خطای حالت دوم کمتر است زیرا در صورت ϕ(t)<1 ، PM همان باند باریک میشود و شرط باند باریک بودن نیز همان است اما در غیر اینصورت سیگنال ما wideband میشود که در حالت ϕdelta=10 همین حالت است.

قسمت ب) (مدولاسیون فرکانس)

۱. تابع Fm را با ورودی های خواسته شده مینویسم.

۲. تابع NbFm را نیز با ورودی های گفته شده مینویسم. و استدلال آن مانند باندباریک PM است.

فقط باید دقت کرد در FM انتگرال سیگنال ما قرار دارد و در اندیس مدولاسیون فرکانس ضرب میشود.

۳. ورودی ها را به تابع میدهیم.

نتایج به شرح زیر است:

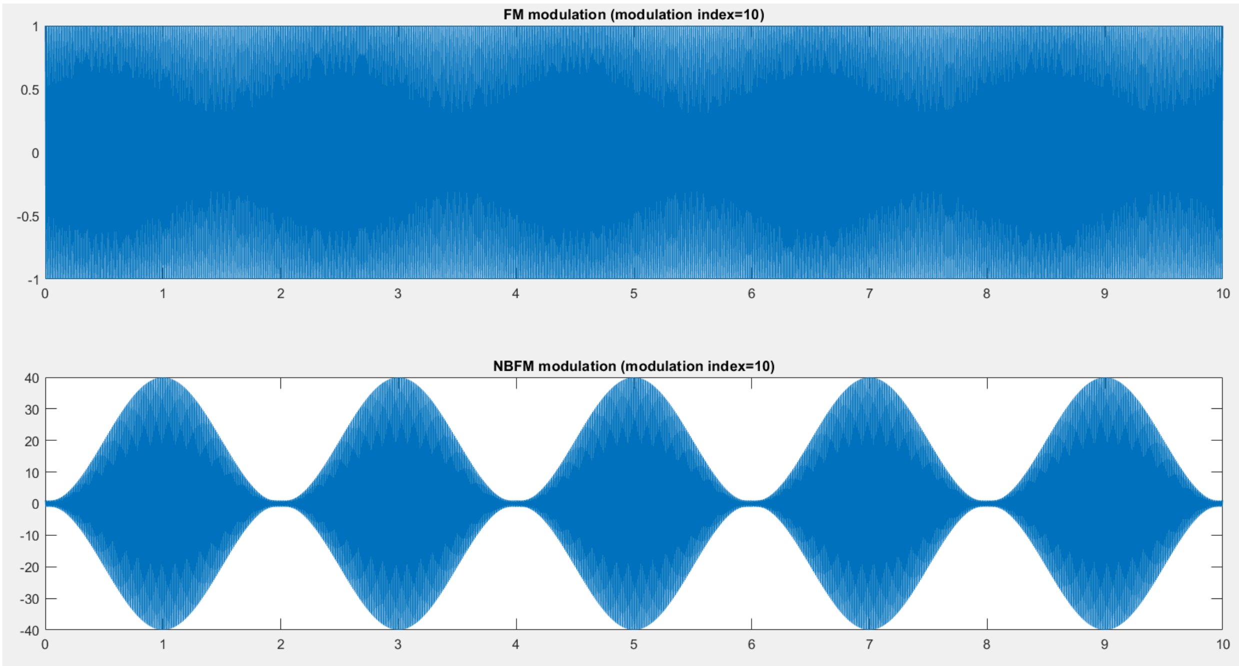


Figure 2.3 (FM and NBFM in time for fdelta=10)

همچنین درصد خطای آن برابر با: errFM1 297.3367

۴. در اینجا نیز با fdelta جدید خروجی را رسم میکنیم.

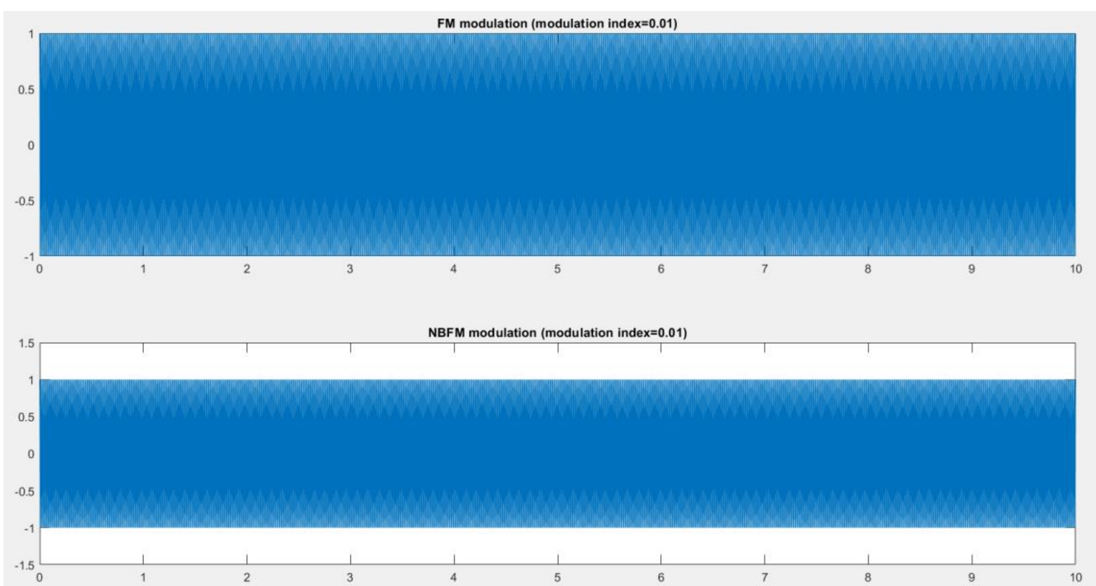


figure 2.4 (FM and NBFM in time for fdelta=0.01)

errFM2 8.7494e-08

درصد خطای آن برابر است با:

مقایسه دو حالت قبل:

شرط باندباریک در FM مانند PM است. در اینجا اگر f(t)<1 باشد سیگنال ما باندباریک است. پس در حالتی که fdelta=10 است، سیگنال ما نمیتواند باندباریک باشد.

قسمت ج (پیاده سازی دمدولاسیون با تبدیل FM به AM)

۱و۲. با تابعی که در قسمت قبل نوشته شد مدولاسیون PM را انجام داده و در حوزه زمان و فرکانس رسم میکنیم.

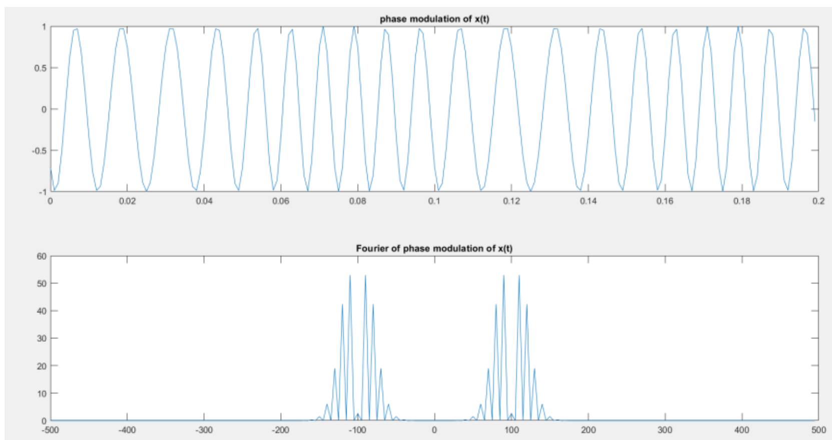


Figure 2.5 (plot PM in time and frequency)

۳و۴. با تابع نوشته در قسمت قبل مدولاسیون FM را انجام میدهیم و آن را رسم میکنیم.

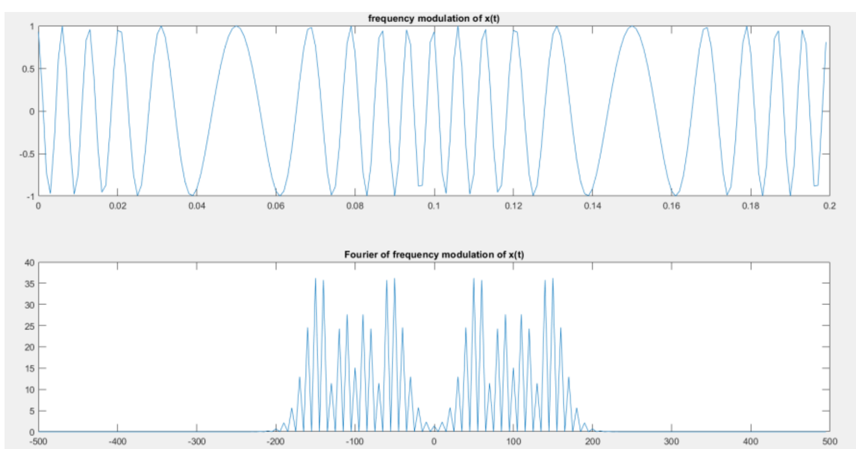


Figure 2.6 (plot FM in time and frequency)

۵. تابع را به اسم BesselBW نوشته ایم و از سینتکس besseli استفاده کردیم.

همچنین از کارلسون برای تقریب بتای های کوچک استفاده میکنیم. به همین علت با افزایش بتا ، فاصله دو نمودار بیشتر شده و نشان میدهد ُروش کارلسون دقت کافی را ندارد.(نمودار قرمز مربوط به بسل است و نمودار آبی مربوط به کارلسون)

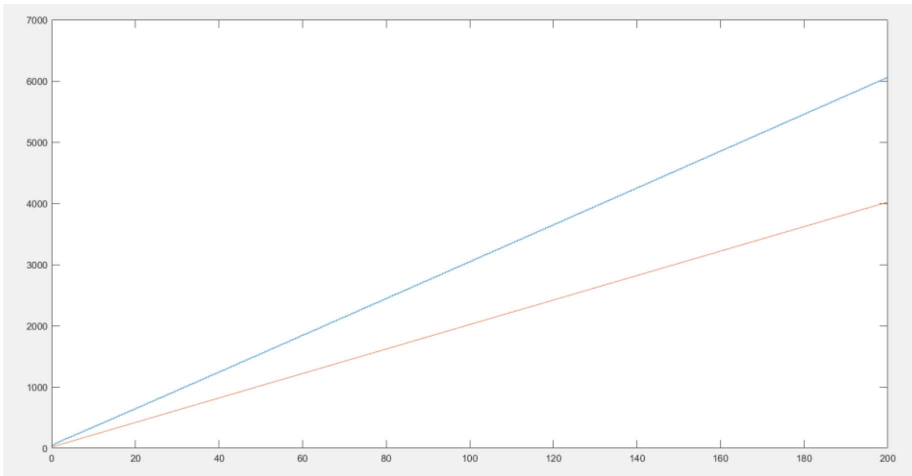


Figure 2.7 (comparing Bessel and Carlson bandwidth)

۶. ابتدا با استفاده از تابع هیلبرت نوشته شده در قسمت AM در اینجا نیز تابع هیلبرت را مانند همان با تغییراتی در ورودی مینویسیم.(ورودی در اینجا در حوزه زمان است.)

۷و۸. مشتق سیگنال گفته شده را محاسبه کرده و به ورودی envelope detector میدهیم.

خروجی آن به شرح زیر است

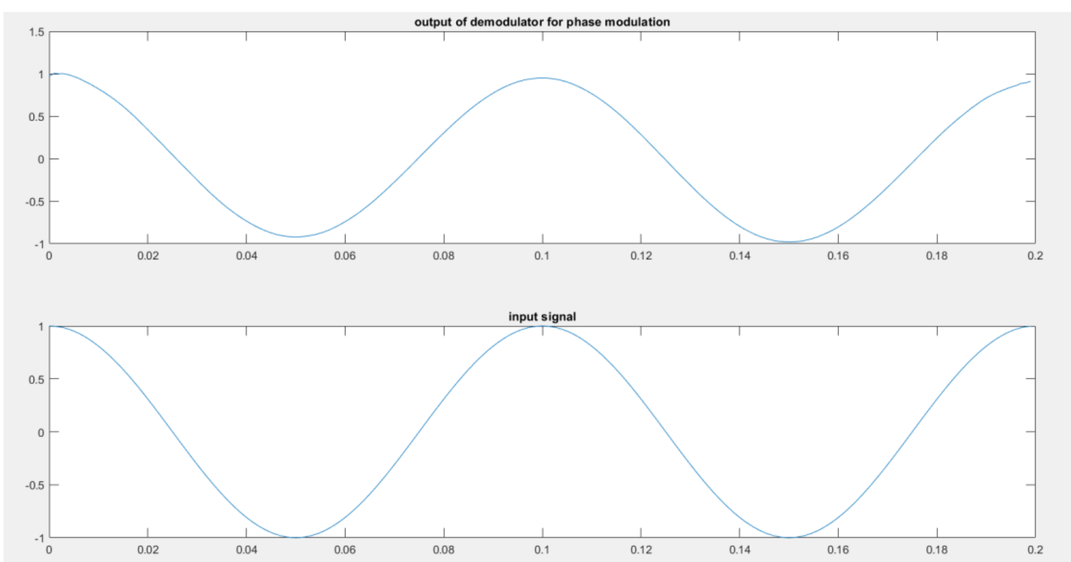


Figure 2.8 (phase modulation envelope detector)

برای دمدولاسیون فاز ابتدا از مشتق استفاده کردیم اما به دلیل آنکه مشتق ما یکی از خانه های آرایه را کم میکند یک صفر به اول sp(t) اضافه میکنیم.

نتیجه مشتق را به envelope detector میدهیم تا push آن را تشخیص دهد. سپس DC آن را حذف میکنیم (با استفاده از میانگین) علت این کار تبدیل شدن سیگنال ما به AM است. حال به علت اینکه درPM قرار داریم و در این مدولاسیون خود سیگنال پیام وجود دارد و چون برای دمدلاسیون یکبار مشتق گرفتیم اینبار انتگرال میگیریم تا دوباره خود سیگنال را به ما بدهد. در اینجا باز از میانگین گیری مقدار DC ایجاد شده را حذف کرده و به علت آنکه $\phi(t)$ ضرب ضریب phidelta در خود سیگنال است بر یک phidelta نیز تقسیم میکنیم.

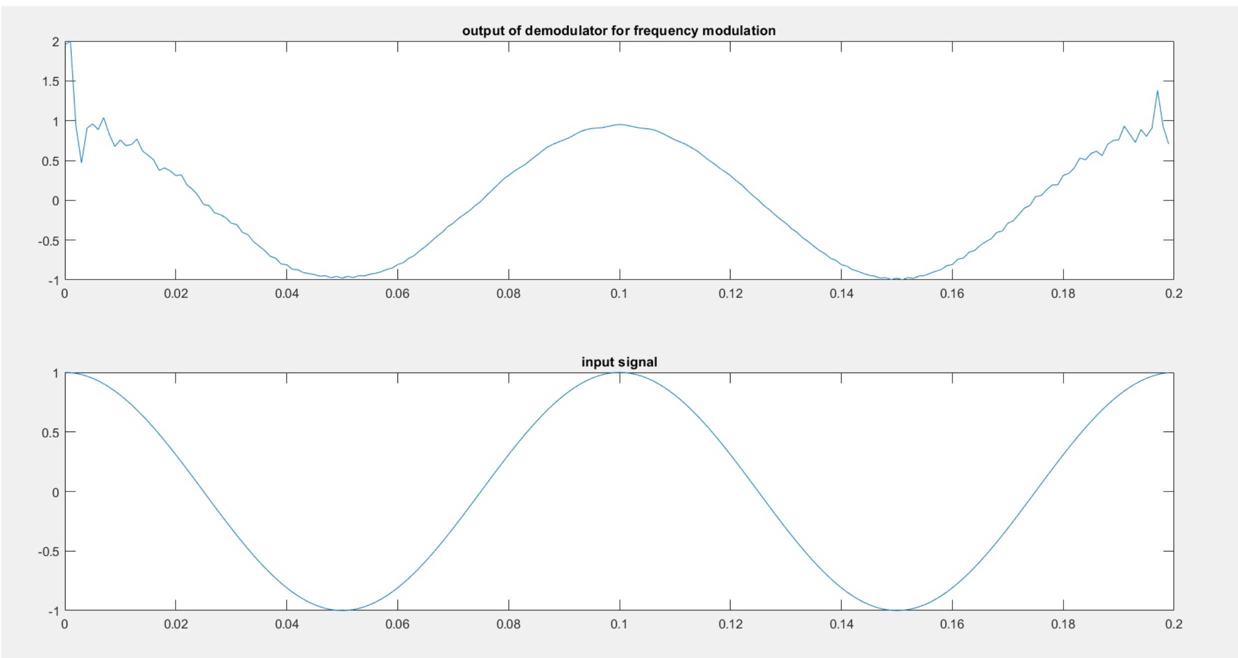


Figure 2.9 (frequency modulation envelope detector)

در اینجا نیز پس از عبور از هیلبرت پوش آن را محاسبه میکنیم.

چون در مدولاسیون FM انتگرال پیام وجود دارد دیگر مانند قبل از آن مشتق نمیگیریم ولی باز دارای مقدار DC دارد که آن را حذف میکنیم. سپس برای آنکه دامنه مشابه شود تقسیم بر ضریب میکنیم.

*نکته قابل توجه در شکل این است که خروجی دمدلاتور اعوجاج دارد. اما مشکل از کد نوشته شده نیز زیرا در هر دوحالت مدولاسیون نتیجه آشکار ساز با تابع envelope متلب مقایسه شده و کاملا مطابقت دارند. (علت آن را میتوان به خاطر تابع مشتق دانست زیرا در این تابع دو خانه متوالی را از هم کم میکند و سیگنال داده شده به ورودی تابع است که در دو خانه متوالی تفاوت زیادی دارد در پاراگراف بعدی توضیح انتگرال FM داده شده ولی باز اگر از دستور cumtrapz برای انتگرال استفاده میکردیم جواب فرقی نمیکرد.)

* برای آنکه از سیگنال های داده شده به خاطر گسسته بودنشان انتگرال بگیریم از cumsum سیگنال استفاده میکنیم و در نهایت آن را بر fs تقسیم میکنیم. این کار همان cumtrapz گفته شده در صورت پروژه است.(در مدولاسیون FM و انتهای دمدولاسیون PM)

منابع

Mathwork.com

Iranbmemag.com

Matlabplus.com